

Tomi Mononen

Päästöt pienissä ja keskisuurissa polttolaitoksissa

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2014**

Yksikkö Ylivieska	Aika Huhtikuu 2014	Tekijä Tomi Mononen
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi Päästöt pienissä ja keskisuurissa polttolaitoksissa		
Työn ohjaaja DI Yrjö Muilu		Sivumäärä [45 + 10]
Työelämäohjaaja		
<p>Työssä käsitellään pienten ja keskisuurten polttolaitosten päästöjen muodostumista ja niiden määrittämistä. Työn alkupuolella käsitellään teoriaa palamisesta ja päästöjen muodostumisesta, jonka jälkeen käydään läpi palamisessa muodostuvat päästöt. Työn lopussa on esitetty työn yhteydessä olleiden mittauskohteiden päästöjä ja niiden määrittämistä.</p>		
Asiasana Päästöt, päästömittaus, palaminen, polttoaineet, polttotekniikka		

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Ylivieska	Date April 2014	Author Tomi Mononen
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis Emissions in small and mid- sized combustion plants		
Instructor DI Yrjö Muilu		Pages [45 + 10]
Supervisor		
<p>This thesis concentrates on the emissions created by small and mid -sized combustion plants and the measuring of the emissions. The beginning of the work concentrates on the theory of burning and the creation of emissions. The practical part of the work handles emissions and their determination in small and mid –sized combustion plants.</p>		
Key words Emissions, burning, burning techniques		

ESIPUHE

Työn tavoitteena oli käsitellä päästöjen muodostumisesta ja niiden mittaamisesta pienissä ja keskisuurissa polttolaitoksissa. Työtä vaikeutti muutoksen alla oleva pienpolton lainsäädäntö.

Työssä käsitellään pienten ja keskisuurten polttolaitosten päästöjen muodostumista ja niiden määrittämistä. Työn alkupuolella käsitellään teoriaa palamisesta ja päästöjen muodostumisesta, jonka jälkeen käydään läpi palamisessa muodostuvat päästöt. Työn lopussa on esitetty IR-määrittelyllä mitatun hakekattilan päästöt ja Nivalan Kaukolämmön voimalaitoskattilan päästöt yhden vuorokauden ajalta.

Kiitokset työssä kuuluu Ammattikorkeakoulu Centrian Yrjö Muilulle, Kari Pieniniemelle ja Miika Oksaselle, Nablabsin Esko Ristiselle ja Jani Oksaselle sekä Nivalan kaukolämmön Martti Poikkimäelle ja Aaro Kaarelalle.

Opiskelun aikana apua ja ymmärrystä on tullut kiitettävästi opettajilta, luokkatovereilta sekä vanhemmilta.

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	5
2 Pienet ja keskisuuret polttolaitokset	7
2.1 Arinapoltto	7
2.2 Leijupoltto	8
2.3 Pölypoltto	8
2.4 Kaasuttaminen	8
2.5 Polttolaitoksen puhdistusmenetelmiä	9
3 Palaminen	10
3.1 Palamisen vaiheet	10
3.2 Kaasuttaminen	11
4 Polttoaineet	12
4.1 Turve	12
4.2 Puuhake ja pelletit	12
4.3 Olki	13
4.4 Polttoöljy	13
4.5 Kierrätyspolttoaine	13
4.6 Polttoainekolmio	13
5 Hyötysuhde	15
6 Muodostuvat päästöt ja jätteet	16
6.1 Savukaasu	16
6.2 Lauhdevedet	16
6.3 Tuhka	18
6.4 Hiukkaspäästöt	19
6.5 Hiilidioksidi	20
6.6 Typen oksidit	20
6.7 Rikin oksidit	22
6.8 Aromaattiset yhdisteet	22
6.9 Raskasmetallit	24
7 Lainsäädäntö	25
8 Päästöjen mittaaminen ja mittalaitteet	27
8.1 Mittaaminen	28
8.2 Mittalaitteet	28
8.3 IR-mittalaitteet	29
8.4 Typen oksidien määrittäminen kemiluminesenssiin perustuen	30
8.5 Rikkidioksidin määrittäminen	31
8.6 Hiukkaspäästöjen määrittäminen	31
9 Soveltava osio	32
9.1 Nablabsin päästömittausten seuraaminen	33
9.2 Vähäkankaan hakekattilan päästöjen mittaaminen	37
9.3 Nivalan kaukolämmön voimalaitoskattilan päästöjen analysointi	39

10 Tulokset	40
10.1 Vähäkankaan hakekattilan päästöt.....	40
10.2 Nivalan kaukolämmön voimalaitoskattilan päästöt.....	41
11 Yhteenveto	42
12 Pohdinta	43
LÄHTEET.....	44

1 JOHDANTO

Pieniä polttolaitoksia käytetään yleisesti teollisuus- ja maataloustilojen sekä suurempien asuinrakennusten yhteydessä. Suomessa polttolaitosten yleisin käyttö on lämmöntuotto läheisiin rakennuksiin, mutta lämmityksen yhteyteen voidaan rakentaa myös pienimuotoista sähköntuotantoa parantamaan hyötysuhdetta. Muualla maailmassa pelkkä sähköntuotanto polttolaitoksella on yleisempää.

Lämmitysratkaisujen suhteen eletään murrosvaihetta, koska öljyn nopeasti nouseva hinta pakottaa siirtymään edullisempiin lämmitysratkaisuihin. Myös uusi EU:n lainsäädäntö tekee lämmitysratkaisujen tarkastelemisen pakolliseksi. Öljyn ohella Suomessa käytetään lämmityksessä puuta, turvetta, kivihiiltä ja kotitalousjätettä.

Kiinteän polttoaineen käyttö vaatii uudenlaisia ratkaisuja öljykattiloihin verrattuna. Kiinteä polttoaine voidaan joko kaasuttaa tai polttaa suoraan.

Hyötysuhde on oleellinen tieto eri polttoaineita ja laitosratkaisuja vertailtaessa. Laitoksen hyötysuhde kertoo polttoaineesta hyötykäyttöön saatavan ja polttoaineen todellisen energian suhteen.

Palaminen voi tapahtua lähes täydellisesti hyvin suunnitellussa palotilassa. Tällöin palaminen tapahtuu riittävän korkeassa lämpötilassa ja saa riittävästi happea. Tällöinkin palamisen yhteydessä vapautuu palamisen kannalta tarpeettomia päästöjä. Merkittävimpiä päästöjä ovat epätäydellisessä palamisessa hiilimonoksidi ja täydellisessä palamisessa pienhiukkaset, hiilidioksidi, typen ja rikin oksidit, raskasmetallit sekä aromaattiset yhdisteet.

Päästöjen määrää voidaan pienentää useillakin tavoilla. Yksinkertaisin ratkaisu on käyttää erilaista polttoainetta. Pidempikestoisia ratkaisuja ovat erilaiset laitosratkaisut, parempi polttotekniikka ja polttoaineen puhdistaminen.

2 PIENET JA KESKISUURET POLTTOLAITOKSET

Pieni polttolaitos on edullinen lämmitysratkaisu jo omakotitalossa, jossa kaukolämpöä ei ole tarjolla. Lämpökattilan etuja ovat käytön edullisuus, riittävä lämmöntuotanto ja kohtuulliset investointikustannukset.

Palaminen voidaan toteuttaa polttolaitoksissa joko polttamalla tai kaasuttamalla. Molemmilla ratkaisuilla on omat etunsa. Tässä osiossa tarkastellaan lähinnä arinapolttoja ja leijupolttaja, joten muun muassa soodakattilaprosessi jää tutkielman ulkopuolelle.

2.1 Arinapoltto

Arinapoltto on yleisin käytetty menetelmä pienissä polttoratkaisuissa. Arinoita valmistetaan tehoalueeltaan kilowateista kymmeneen megawattiin. (Energiateollisuus, 2012, s.16-17) Arinalla voidaan polttaa muun muassa puuhaketta, palaturvetta ja olkea. Arinalla kyetään polttamaan kosteaakin ainetta.

Arinamalleja on lukuisia erilaisia. Merkittävimmät erot arinoiden välillä tulevat mekaanisen ja kiinteän sekä viiston ja tasomaisen välillä. Mekaanisessa arinassa polttilaa kyetään säätämään. Kiinteässä arinassa tätä mahdollisuutta ei ole. Viistoarinassa palotila ei ole tasainen vaan kalteva, minkä seurauksena tuhka on helpompi saada palotilasta pois. Tasoarinassa tuhkanpoisto on hoidettu muilla tavoilla. (Timonen, 2009, s. 36-39)

2.2 Leijupoltto

Leijupoltto on usein paras menetelmä keskisuurille kattiloille. Leijupoltossa poltettava materiaali on jauhettu hienoksi ennen polttoa ja polton aikana se on ilmanpaineen vaikutuksesta eristyksissä kattilan pohjasta. Leijupolton etuna arinapolttoon verrattuna on tasaisemmat olosuhteet palavalle aineelle sekä lievästi parempi hyötysuhde ja pienemmät päästöt. Leijupoltossakin on useampia laiteratkaisuja, joista merkittävimpiä ovat kupliva leijukerrosoltto (kerrosleijupoltto) ja kiertoleijukerrosoltto (kiertoleijupoltto). Kerrosleijupoltossa poltettavan materiaalin keskikoko on halkaisijaltaan 1 mm luokkaa. Kiertoleijupoltossa materiaali on halkaisijaltaan alle 0,5 mm. Kerrosleijupoltossa virtausnopeudet ovat pienempiä. (Timonen, 2009s. 40) (Energiateollisuus, 2012, s.15-16)

2.3 Pölypoltto

Pölypoltossa polttoaine sumutetaan polttimelle, jossa palamisoloja voidaan muokata liekkiä säätelämällä. Palamisolut voidaan saada eri kokoluokissa erittäin hyviksi. Pölypoltossa poltettava aineen on oltava erittäin hienojakoista.

2.4 Kaasuttaminen

Kaasutinoltto poikkeaa muista menetelmistä huomattavasti, koska kaasuttamisessa palaminen ei ole toivottava reaktio vielä tulipedillä. Kaasutettava materiaali vapauttaa pyrolyysissä sisältämänsä biokaasut, kun olosuhteet ovat suotuisat. Pyrolyysistä kerrotaan enemmän palamisen vaiheita käsittelevässä kappaleessa. Biokaasut kerätään tämän jälkeen talteen tai poltetaan välittömästi esimerkiksi lämmön tai sähköntuotannon yhteydessä.

2.5 Polttolaitoksen puhdistusmenetelmiä

Päästöjä voidaan vähentää useilla eri menetelmillä. Ilmeisimpiä menetelmiä ovat polttoainetyypin vaihtaminen tai polttomenetelmän vaihtaminen. Tässä osiossa keskitytään kuitenkin erilaisiin laiteratkaisuihin.

Pienhiukkaspäästöjen pienentämiseksi voidaan käyttää suodattimia, pesureita tai sykloneita. Sähkösuodattimen toiminta perustuu hiukkasten sähkömagneettisiin vaikutuksiin ja syklonien toiminta pyörimisliikkeen aiheuttamaan keskipakovoimaan. Sähkö- ja kuitusuodattimella saadaan paras erotusaste. Taulukossa 1 on tarkasteltu eri suodattimia ja pesureita. (Energiateollisuus, 2012, s. 21-23)

Taulukko 1: Hiukkaspäästöjen puhdistusmenetelmiä (Energiateollisuus, 2012, s. 21)

Puhdistuslaite	Polttoaine	Teho MW _{pa}	Investointi €/MW _{pa}	Käyttökust. €/MWh _{pa}	Päästötaso mg/m ³ n	Painehäviö mbar
Sähkösuodatin	kaikki	alle 5	40 000	ei tietoa	15–50	2–3
	kaikki	5–50	20 000	0,1		
	kaikki	50–150	15 000	ei tietoa		
	kiinteä ja lipeä	> 150	10 000	ei tietoa		
	neste	> 150	7 000	ei tietoa		
Kuitusuodatin	kaikki	5–50	18 000	0,3	5–25	10–20
	kiinteä	> 150	13 000	0,2		
	neste	> 150	10 000	ei tietoa		
Pesuri + LTO	kaikki	5–50	35 000	0,3	50–500	10–15
Pesuri	kaikki	5–300	60 000	0,5	50–500	10–15
	kaikki	300–1 000	80 000	0,3		
	kaikki	yli 1 000	40 000	ei tietoa		
Sykloni / multi-sykloni	kaikki	alle 5	6 000	ei tietoa	20–1500	10–20
	kaikki	5–50	1 600	0,1		

3 PALAMINEN

Puhdas palaminen voidaan määritellä kemiallisena reaktiona $C_nH_m + (n + \frac{m}{2})O_2 \rightarrow nCO_2 + \frac{m}{2}H_2O$. (Raiko, 1995, s. 31) Toisin sanottuna hiilivety reagoi riittävässä lämmössä hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia ja vettä. Todellisuudessa palamisen yhteydessä tapahtuu paljon muitakin reaktioita ja poltettavassa aineessa on aina muitakin yhdisteitä kuin hiilivetyjä.

Epätäydellisessä palamisessa, jonka reaktio on $C_nH_n + O_2 \rightarrow CO + H_2O$, muodostuu hiilimonoksidia eli häkää. Mikäli happea on riittävästi saatavilla, hiilimonoksidi reagoi edelleen hiilidioksidiksi. Hiilimonoksidi on myrkyllinen aine, sillä se sitoutuu happea kuljettavaan hemoglobiiniin ja estää näin hapen saantia.

Ilmassa on typpeä noin 78 %. Palamisen yhteydessä ilmassa oleva typpi muodostaa hapen kanssa typpioksideja. Samalla tavoin myös poltettavassa aineessa oleva rikki reagoi palamisessa muodostaen rikkidioksidia.

3.1 Palamisen vaiheet

Kosteus on poltettavissa aineissa haitallista, koska se alentaa materiaalin lämpöarvoa ja laskee kattilan lämpötilaa. Useilla laiteratkaisuilla kyetään polttamaan hyvin kosteitakin aineita, koska vesi haihtuu poltettavasta materiaalista ennen palamista. Haihtumista voidaan nopeuttaa käyttämällä pienempää palakokoa. (raiko ,1995, s. 142-144)

Pyrolyysin aikana palamiskelpoisia kaasuja ja tervaa poistuu aineesta. Poistuvat aineet palavat liekissä, kun happea on tarpeeksi saatavilla. Pyrolyysin aikana haihtuvien aineiden osuus on 30 - 70 %. Pyrolyysiin liittyvää palamista voidaan

tehostaa paremmalla hapensaannilla ja hyvällä pesäsuunnittelulla. (Raiko, 1995, s. 145-146)

Pyrolyysistä jäljelle jäänyt hiili palaa suhteellisen hitaasti, kunnes jäljelle jää vain tuhkaa. Jäännöshiilen palaminen on nopeampaa hienojakoisella aineella. (Raiko, 1995, s. 153-154)

3.2 Kaasuttaminen

Kaasuttamalla saadaan poltettavasta materiaalista muodostettua kaasua, joka sisältää korkean lämpöarvon omaavia yhdisteitä. (Energiateollisuus, 2012, s. 18) Näitä yhdisteitä ovat esimerkiksi metaani, vetykaasu ja häkä. Menetelmän merkittävin etu onkin tuon kaasun tuottaminen polttoaineesta. Toisaalta kaasu sisältää myös hiilidioksidia ja ilman typpeä, jotka eivät omaa hyödynnettävää lämpöarvoa. Muodostunutta kaasua voidaan käyttää sähkön- ja lämmöntuotantoon tai jopa auton energianlähteenä.

Kaasuttaminen tuottaa myös pienempiä päästöjä verrattuna polttamiseen, koska huomattava osa päästöistä jää kaasutettavan aineen tuhkaan tai kokonaan syntymättä. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöt pienenevät palamiseen verrattuna. (Energiateollisuus, 2012, s. 18)

Kaasuttamalla ei voida käyttää yhtä laajaa polttoainevalikoimaa kuin polttamalla. Kaasuttamiseen soveltuvat erityisen hyvin puu, biomassa ja muovijäte.

4 POLTTOAINEET

Suomessa tavallisimpia polttolaitoksissa käytettäviä polttoaineita ovat turve, puuhake, pelletit ja kivihiili.

4.1 Turve

Turpeen käyttö energian tuottamiseksi Suomessa on kovan paineen alla. Suomessa on erittäin laajat alueet, joilla voidaan hyödyntää turvetta. Toisaalta turve on ominaisuuksiltaan lähempänä fossiilista kuin uusiutuvaa polttoainetta ja päästöiltään fossiilisten polttoaineiden veroinen. Samalla käyttämättömät suoalueet toimivat tällä hetkellä hiilinieluina säilöen suuret määrät hiiltä sisäänsä. Turpeennoston on myös todettu aiheuttavan merkittäviä päästöjä lähialueiden vesistöihin.

Turve polttolaitoksen polttoaineena on kuitenkin erittäin varmatoiminen ja se omaa puuta korkeamman lämpöarvon. Turve ei vaadi yhtä korkeaa lämpötilaa eikä se muodosta yhtä paljon tuhkaa kuin puuhake.

4.2 Puuhake ja pelletit

Puuhaketta saadaan kaikentyypisistä puusta. Puuhakkeeksi voidaan hyödyntää esimerkiksi oksat ja kannotkin. Turpeeseen verrattuna hake vaatii korkeamman lämpötilan ja enemmän huoltotöitä. Puuhakkeesta voidaan valmistaa pellettejä.

Puuperäisellä polttoaineella on pienet päästöt ja käytännössä puun polton aikana vapautuu vastaavanlaiset päästöt kuin puun lahoamisessa. Puun poltosta aiheutuu lähinnä hiilidioksidi-, hiilimonoksidi-, pienhiukkaspäästöjä ja vain pieniä määriä muita päästöjä. (Energiateollisuus, 2012, s. 7)

4.3 Olki

Olkia saadaan maatalouden sivutuotteena, eikä niitä kyetä täysimääräisesti hyödyntämään. Niinpä olkia on hyvin saatavilla polttolaitoksille. Olkien lämpöarvo on kuitenkin puuhaketta alhaisempi ja se muodostaa paljon tuhkaa. Toisaalta oljen aiheuttamat päästöt ovat pieniä. (Energiateollisuus, 2012, s. 8)

4.4 Polttoöljy

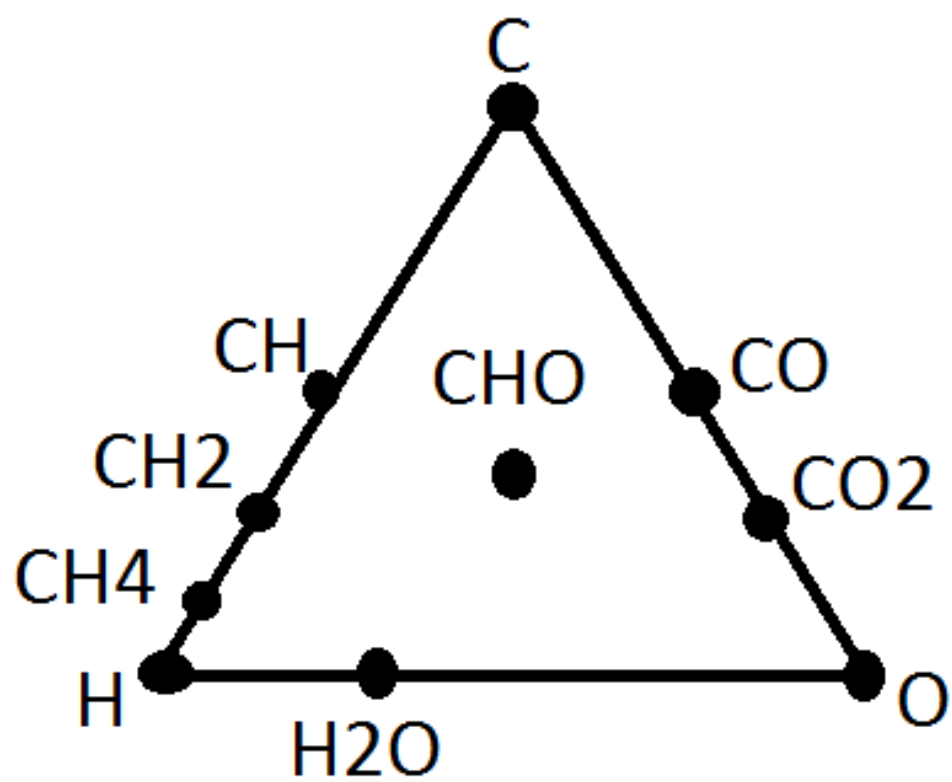
Öljyä käytetään yleisesti polttolaitoksissa käynnistämään palaminen. Muutoin öljyn käyttäminen laitoksissa ei ole kannattavaa ja öljykattiloita korvataankin lähes poikkeuksetta esimerkiksi hakekattiloilla.

4.5 Kierrätyspolttoaine

Kierrätyspolttoaineiksi lasketaan kaikki jätteenpoltto. Niiden sisältö voi olla hyvinkin erilaista riippuen niiden lähteestä. Päästöjen valvonta on kuitenkin hyvin samanlainen kaikille jätteille. Jätteet voivat sisältää erittäin haitallisia aineita, kuten elohopeaa ja klooria. Jätteenpoltolle on omat päästörajat.

4.6 Polttoainekolmio

Polttoaineen ominaisuuksia voidaan tarkastella polttoainekolmiossa. Kolmion sivuilla on polttoaineiden ja päästöjen selvästi yleisimmät alkuaineet eli hiili, vety ja happi. Polttoaineseoksen pitoisuuksien mukaan voidaan sijoittaa lähtöaine ja tuotteet kolmioon. Polttoaineena olevat hiilivedyt ovat lähinnä vasemmalla sivulla kolmiossa ja päästöt muilla sivuilla. Polttoainekolmio on esitetty kuvassa 1.



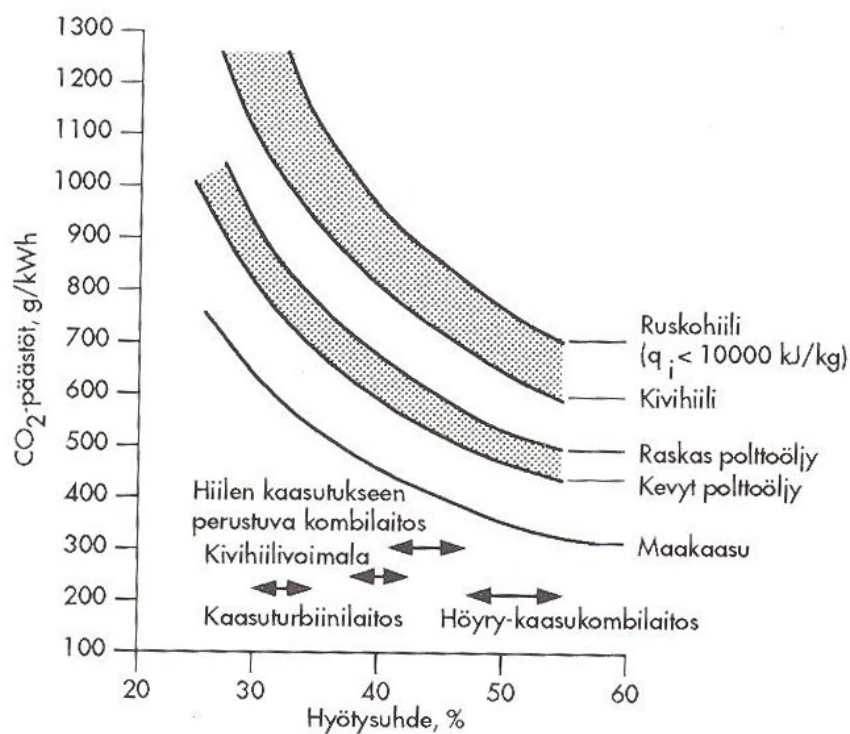
Kuva 1: Polttoainekolmio

5 HYÖTYSUHDE

Laitoksen hyötysuhde on tärkeä luku arvioitaessa laitostarkkaisuun kannattavuutta. Hyötysuhde ei kerro suoraan kustannuksia, joten sen lisäksi on käytettävä muita määreitä apuna. Kannattavuutta arvioitaessa muita tärkeitä lukuja ovat esimerkiksi laitoksen ja polttoaineen hinta.

Hyötysuhde on polttoaineesta saatavan hyödyn ja polttoaineen lämpöarvon suhde. Hyötysuhteeseen vaikuttavat muun muassa polttoaineen kosteus ja savukaasun mukana menetetty lämpö.

Hyötysuhdetta voidaan kasvattaa rakentamalla suurempia polttolaitoksia tai yhdistämällä sähköntuotanto lämmöntuotantoon. Samalla päästöjen määrä suhteessa tuotettuun lämpöön on pienempi. (Raiko, 1995, s. 21) Kuvaaja 1 kertoo tästä ilmiöstä.



Kuvaaja 1: Voimaloiden hyötysuhteet ja hiilidioksidipäästöt (Raiko, 1995, s. 21)

6 MUODOSTUVAT PÄÄSTÖT JA JÄTTEET

Polttolaitosten päästöinä käsitellään tavallisimmin vain savukaasuna syntyvät päästöt. Nämä ovatkin laitoksen pääasialliset päästöt, mutta osa päästöistä jää poltossa muodostuvaan tuhkaan ja pesurin lauhdeveteen. Myös nämä päästöt tulee ottaa huomioon laitosratkaisua suunniteltaessa.

Palamisessa syntyvät merkittävimmät päästöt ovat hiilidioksidi, typen ja rikin oksidit, aromaattiset yhdisteet, raskasmetallit, halogeenit ja hiukkaspäästöt.

6.1 Savukaasu

Palamisessa hiilidioksidin ja veden lisäksi syntyvät muut yhdisteet kulkeutuvat suurelta osin savukaasun mukana. Mikäli tätä ei puhdistettaisi, kulkeutuisivat päästöt laitoksen ulkopuolelle. Savukaasun puhdistukseen on kuitenkin useampia menetelmiä, joita käytetään jo pienimmissä polttolaitoksissa.

6.2 Lauhdevedet

Toisinaan pesurin lauhdevedessä havaitaan raja-arvot ylittäviä pitoisuuksia raskasmetalleja, kiintoainesta ja arseenia. Muita kohonneita pitoisuuksia ovat kokonaistyyppi ja kokonaisfosfori. Lauhdevesistä määritettyjä pitoisuuksia on esitetty taulukossa 3 ja pitoisuuksien raja-arvoja taulukossa 2.

Lauhdevesiä voidaan puhdistaa esimerkiksi saostamalla raja-arvot ylittävät ainekset pois, jolloin vesi on riittävän puhdasta laskettavaksi esimerkiksi viemäriin. (Energiateollisuus Ry, 2008, s. 16)

Taulukko 2: Sallitut pitoisuudet teollisuusvesissä (Energiateollisuus Ry, 2008, s. 6)

Aine/ominaisuus	Yksikkö	Suurin sallittu arvo
Elohopea, Hg	mg/l	0,01
Hopea, Ag	mg/l	0,2
Kadmium, Cd	mg/l	0,01
Kromi, Cr	mg/l	0,5*
6-arvoinen kromi, Cr ³⁺	mg/l	0,1
Kupari, Cu	mg/l	0,5*
Lyijy, Pb	mg/l	0,5
Nikkeli, Ni	mg/l	0,5
Sinkki, Zn	mg/l	2,0*
pH	mg/l	6,0 - 11,0
Lämpötila	°C	40
Arseeni, As	mg/l	0,1
Tina, Sn	mg/l	2,0
Rasva	mg/l	Tapauskohtaisesti
Kokonaishiilivetypitoisuus	mg/l	200
Kiintoaine	mg/l	500 - 800

Taulukko 3: Lauhdevesien laadunselvitys (Energiateollisuus Ry, 2008, s. 12)

Parametri	Yksikkö	n	Vaihteluraja	Keskiarvo
Arseeni, As	mg/l	3	0,058 - 0,1	<0,2
Elohopea, Hg	mg/l	3	0,0017 - 0,006	0,004
Hopea, Ag	mg/l	3	<0,010	<0,010
Kadmium, Cd	mg/l	8	0,031- 0,44	0,106
Kadmium, liukoinen	mg/l	5	0,0036 - 0,11	0,051
Kromi, Cr	mg/l	3	0,042 - 0,088	0,060
6-arvoinen kromi, Cr⁶⁺	mg/l	3	<0,01 - <0,1	<0,04
Lyijy, Pb	mg/l	3	0,055 - 0,29	0,165
Nikkeli, Ni	mg/l	3	0,052 - 0,16	0,089
Sinkki, Zn	mg/l	8	2,6 - 36	10,4
Sinkki, liukoinen	mg/l	5	0,051 - 36	8,8
Tina, Sn	mg/l	3	<0,1	<0,1
Kiintoaine	mg/l	8	24 - 250	91
pH		7	3,6 - 7,9	6,5

6.3 Tuhka

Osa palamisen aikana poltettavassa materiaalissa olevista yhdisteistä ja syntyvistä yhdisteistä jää tuhkaan. Tuhkaan jäävät yhdisteet haittaavat tuhkan hyötykäyttöä, mutta toisaalta estävät niiden leviämistä esimerkiksi savukaasun mukana. Tuhkaan jäävät polttoainekohtaiset oksidit on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4: Tuhkan alkuaineet oksideina polttoaineittain (Raiko, 1995, s. 212)

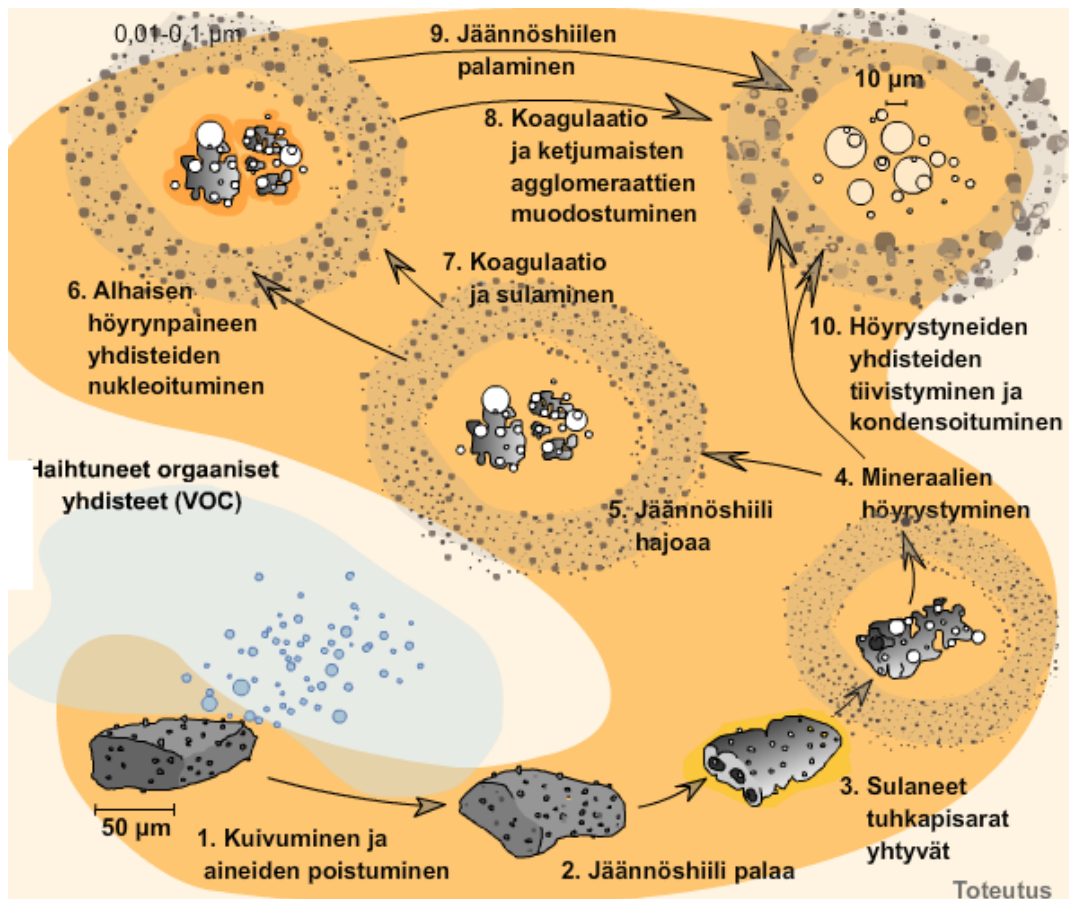
Polttoaine	tuhka %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	muu*
Hiilet											
Ruskohiili	5,2	9,8	1,6	11,3		51,2		0,1	0,1	1,3	24,6
	22,0	42,6	9,7	1,3		8,9		6,2	0,9	15,6	14,8
	4,9	12,6	8,0	14,0		16,9	4,8	9,3	0,2	23,7	10,5
Bituminen	7,5	43,2	21,5	13,7		6,9	3,0	2,8	0,5	0,8	7,6
Antrasiitti	7,4	46,6	23,6	8,1		7,0	1,2	0,1	0,5	6,0	6,9
Turpeet											
	1,6	31,8	13,1	11,0		21,1	6,0	1,4	2,0		13,6
	16,8	20,0	5,2	70,0	2,2	4,7	0,7	0,5	0,7		—**
	19,6	57,0	13,0	17,0	1,6	4,4	1,4	2,3	2,0		1,3
Puut											
Koivu	0,3	0,9			3,5	45,8	11,6	8,7	15,1	2,6	11,8
Mänty	0,2	3,5			2,7	41,8	16,1	3,1	15,3	4,5	13,0*
Kuusi	0,3	1,0			2,7	36,8	9,8	3,2	29,6	4,3	12,6
Paju	1,7	0,09	0,06		9,9	33,3	5,1		0,2	2,4	48,9
Eukalyptus	0,4	0,6	0,2	0,3	5,9	35,1	10,4	2,3	13,6	1,9	29,7
Kuoret											
Koivu	1,6	3,0		1,0	3,0	60,3	5,9	0,7	4,1		22,0
Mänty	1,8	14,5		3,8	2,7	40,0	5,1	2,1	3,4		28,4
Kuusi	3,4	21,7		1,8	2,7	50,5	4,2	2,8	3,5		12,8
Tammi	1,5	11,1	0,1	3,3		64,5	1,2	8,9	0,2		10,7
Olki											
Olki	5,8	40,0	0,6	0,4	3,1	12,0		0,4	32,0	3,3	8,2
Bagassi	1,8	48,8	6,4	1,9	2,9	3,9	5,5	0,8	18,9	3,5	7,4
Energia-ruoho	8,4	3,3	0,3	0,3	7,6	27,7	3,1	0,7	28,4	1,9	26,7
Ruokohelpi	8,9	65,7	1,7	1,4	5,0	2,7	1,8	0,3	4,6	1,4	15,4
Öljyliuske, Virol.	42,5	28,2	12,2	6,1		39,8	4,3	0,5	3,3	5,6	0,0
Öljyliuske, Israel	44,0	17,4	6,8	3,5	2,3	48,1	0,6	0,6	0,4	9,0	11,3

* laskettu erotuksena, ** erotus negatiivinen

6.4 Hiukkaspäästöt

Hiukkaspäästöt ovat palamatonta hienojakoista ainesta. Hiukkaspäästöjä muodostuu palamisen yhteydessä. Palamisen aikana palamaton aines sitoutuu yhteen muodostaen eri kokoisia hiukkasia. Kuvassa 2 on esitetty tarkempi kaavio pienhiukkasten muodostumiselle. (Flagan, 1988, s. 363)

Pienhiukkaset ovat erityisen haitallisia päästöjä ja niiden muodostumiselle on esitetty tiukat rajat polttolaitosten yhteydessä. Alle 10 µm hiukkaset kulkeutuvat hengitysteihin ja aiheuttavat erilaisia oireita.



Kuva 2: Hiukkaspäästöjen muodostuminen (Flagan, 1988)

6.5 Hiilidioksidi

Hiilidioksidia syntyy aina hiilen palamisen yhteydessä. Pieninä pitoisuuksina hiilidioksidi ei ole haitallinen, mutta polttolaitosten huomattavan suuret hiilidioksidipäästöt voimistavat todistetusti kasvihuoneilmiötä ja kasvattavan vesistöjen happamuutta. Molempien ilmiöiden vaikutusmekanismit ovat kohtuullisen monimutkaisia.

Hiilidioksidipäästöille on käytössä päästökauppa, jonka tavoite on pienentää päästöjä. Hiilidioksidipäästöjä ei voida käytännössä poistaa polttolaitosten yhteydessä, mutta niitä voidaan pienentää vaihtamalla polttoainetta tai ottamalla hiilidioksidi talteen. Päästökauppa ohjaa käyttämään vähemmän hiilidioksidia muodostavia polttoaineita, mutta hiilidioksidin talteenottoa hyödynnetään vain tutkimuskäytössä.

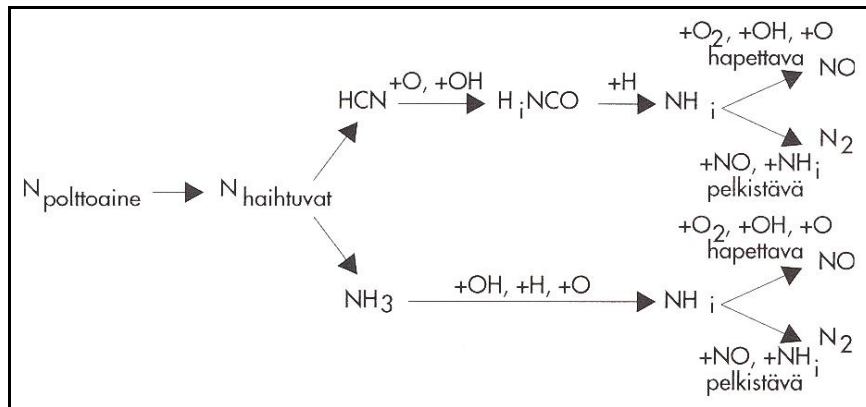
6.6 Typen oksidit

Ilmasta suurin osa on typpeä, josta osa reagoi helposti palamisen yhteydessä hapen kanssa muodostaen typpioksideja. Paremmalla polttotekniikalla voidaan pienentää muodostuvien typen oksidien määriä, koska korkea palamislämpö nostaa typen oksidien määrää olennaisesti. Myös polttoaineessa oleva typpi voi reagoida palamisessa muodostaen typen oksideja. (Raiko, 1995, s. 241)

Typpi muodostaa hapen kanssa useita typen oksideja, joista merkittävimpiä ovat typpimonoksidi (NO), typpidioksidi (N₂O) ja ilokaasu (N₂O). Typpimonoksidi reagoi helposti stabiilimpaan muotoon typpihapoksi. Tämän vuoksi typpimonoksidi on happamoitumista aiheuttava aine. Typpioksidin on todettu aiheuttavan vakavia sairauksia ja lievempiä hengitystieoireita pieninäkin pitoisuuksina. Typpidioksidi aiheuttaa typpimonoksidin tavoin happamoitumista.

Ilokaasu on paremmin tunnettu ponnekaasuna ja puudutusaineena. Se on myös otsonikatoa aiheuttava ja voimakkaasti kasvihuoneilmiötä kasvattava kaasu.

Typen oksidien muodostumisprosessi on esitetty kaaviossa 1 ja typpipitoisuudet eri polttoaineissa on esitetty taulukossa 5.



Kaavio 1: Typen oksidien muodostuminen polttoainetypestä (Raiko, 1995, s. 249)

Taulukko 5: Typpipitoisuus polttoaineittain (Raiko, 1995, s. 248)

Polttoaine	N-pitoisuus (paino-% kuiva-aineesta)
Petshora kivihiili	2,2
Puolalainen kivihiili	1,0
Turve	1,7
Raskas öljy	0,7
Kevyt öljy	0,2
Puu	0,5
Sulfiittiliemi	0,1
Mustalipeä	0,1
Maakaasu	5,0

Taulukko 6: Rikkipitoisuus ja päästöt polttoaineen mukaan (Raiko, 1995, s. 278)

poltoaine	rikkipitoisuus paino-%	rikkipäästö mg SO ₂ /MJ
kivihiili	0,2–5	150–4000
puu	< 0,05	<130
turve	0,05–0,5	50–500
maakaasu	0	0
kevyt polttoöljy	0,05–0,5	25–250
raskas polttoöljy	1–4	500–2000

6.7 Rikin oksidit

Rikin oksidit muodostuvat polttoaineen rikin reagoidessa hapen kanssa. Niinpä polttoaineen rikkipitoisuus on suurin tekijä rikkipäästöjen muodostumisessa. Taulukossa 6 on esitetty rikkipitoisuus eri polttoaineissa sekä päästöjen muodostuminen. (Raiko, 1995, s. 277-278) Eri puhdistusmenetelmillä kuten märkäpesulla saadaan rikki erotettua hyvinkin tehokkaasti vielä savukaasusta. (Raiko, 1995, s. 283)

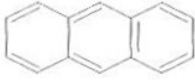
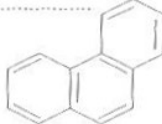
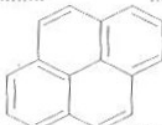
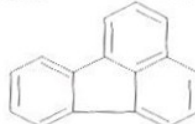
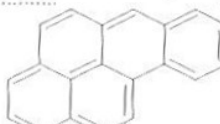
6.8 Aromaattiset yhdisteet

Palamisen yhteydessä muodostuu lukuisia aromaattisia yhdisteitä eli polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH) kuten polykloorattua dibentso-p-dioksiinia (PCDD) ja debentsofuraania (PCDF). PCDD- ja PCDF-yhdisteet voivat olla peräisin polttoaineesta tai ne voivat muodostua polttoaineen klooria sisältävistä hiilivedyistä. (Raiko, 1995, s. 310) PAH-yhdisteet ovat useamman bentseenirenkaan muodostamia ketjuja. Taulukossa 7 on tavallisimpia polysyklisiä yhdisteitä ja taulukossa 8 on PAH-yhdisteiden pitoisuuksia eri polttolaitoksilla.

PAH-yhdisteitä voi vapautua palamisen yhteydessä poltettavasta aineesta tai sitä voi muodostua palamisen aikana kevyistä hiilivedyistä. Osa PAH-yhdisteistä on karsinogeenia tai mutageeneja aiheuttaen syöpää tai mutaatioita.

Dioksiinit ja furaanit ovat erittäin myrkyllisiä polysyklisiä yhdisteitä, joita muodostuu polton aikana. Dioksiini muodostuu klooria sisältävistä aineista.

Taulukko 7: Tavallisimpia PAH-yhdisteitä (Raiko, 1995, s. 301)

PAH-yhdiste	Molekyyli- kaava	Moolimassa g/mol	Rakennekaava	Kiehumislämpötila K
Antraseeni	$C_{14}H_{10}$	178		615
Fenantreeni	$C_{14}H_{10}$	178		613
Pyreeni	$C_{16}H_{10}$	202		666
Fluoranteeni	$C_{14}H_{10}$	202		648
Bentso(a)pyreeni	$C_{20}H_{12}$	252		768

Taulukko 8: Kirjallisuudessa määritettyjä PAH-yhdisteiden pitoisuuksia puupolton yhteydessä (Raiko, 1995, s. 310)

Kattilatyypin ja koko	Hiukkasmaasi		Kaasumaasi		Pölypitoisuus savu- kaasussa $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	$\mu\text{g}_{\text{PAH}}/\text{mg}_{\text{pöly}}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}_{\text{PAH}}/\text{kg}_{\text{kaasu}}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
10 MW sahausjätettä käyttävä arinakattila	0,002–0,04	0,45–13,1	4,5–7,4	5,8–9,6	316–188
7 MW järsinturvetta käyttävä arinakattila	10^{-4} – $1,5 \cdot 10^{-4}$	0,09–0,15	1–2	1,3–2,6	600–1467
5 MW palaturpeen kaasutuspolttolaitos	0,13–1,9	16–90	0,85–32	1,1–41,5	28–144
65 MW järsinturpeen leijukerospolttolaitos	0,009–0,16	0,31–3,2	19,5–140,7	25,3–183	7,6–52
25 MW turvepelletin stokeripoltin	0,4–4,5	15,7–359	276–707	316–919	40–80
25 MW panos- töyrytteinen kattila (koivu)	4,3–11,5	518–923	5044–9003	6557–11704	80–120

6.9 Raskasmetallit

Polttoaineet sisältävät myös raskasmetalleja, jotka kulkeutuvat savukaasun mukana laitoksen ulkopuolelle. Päästöjen mukana ilmaan kulkeutuvat raskasmetallit riippuvat paljon käytettävästä polttoaineesta. Raskasmetallit voivat olla myös pienhiukkasten mukana sekä osana niiden muodostumisprosessia. Polttoaineista määritettyjä raskasmetallipitoisuuksia on lueteltu taulukossa 9.

Taulukko 9: Keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet polttoaineittain (Raiko, 1995, s. 305)

mg/kg	Puu	Turve	Kivihiili	Raskas polttoöljy
Hg	0,02–0,18	0,065–0,075	0,1	<0,005
Pb	1–13	0,9–3,8	13	2–3
Ni	0,57	6,6	11	30–50
Ce	0,19–0,59	0,36–0,58	0,3	0,0013
V	1,9	5–33	24	110–170
Cr	0,9	0,4–1,5	11	0,4–0,5
Fe	8,9–52	1300–4900	6000–8400	15–20
Cu	0,55–2,4	11	13	<0,1
Zn	6,1–118	22	27	7,7
Co	0,13	2,2	4	0,4
Mo	2,1–5,4	4,8	1,5	5,8
Mn	22–745	46–75	53	0,69
As	0,01–0,42	1,3–2,5	4	1,7
Be	-	0,074–0,13	1,1	0,01
Se	0,19	1,1	1,7	0,1

7 LAINSÄÄDÄNTÖ

Keskisuurten polttolaitosten päästörajat muuttuivat vuonna 2010 tulleen asetuksen ansiosta. (445/2010) Asetus 750/2013 korvasi vanhan asetuksen, mutta uusi asetus pitää päästörajat vanhan asetuksen 445/2010 tasolla. Pienille alle 5 MW polttolaitoksille on tulossa vastaava uudistus vuoden 2014 aikana. Seuraavissa taulukoissa on esitetty voimassa olevat päästörajat.

Taulukko 10: Uusien polttolaitosten päästörajat (750/2013)

Kattilan polttoainetehto (P)	Hiukkaset mg/m ³ n	NO _x (laskettuna NO ₂) mg/m ³ n	SO ₂ mg/m ³ n
Nestemäiset polttoaineet¹	O ₂ = 3 %	O ₂ = 3 %	O ₂ = 3 %
1≤P≤15 MW	140 (200) ²	900	350 (850) ³
15<P<50 MW	50 (140) ²	600	350 (850) ³
Kaasumaiset polttoaineet		O ₂ = 3 %	
1≤P≤15 MW		400	
15<P<50 MW		300	
Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet⁴	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %
1≤P≤5 MW	300 (375)	450 (500)	200
5<P≤10 MW	150 (250)	450 (500)	200
10<P<50 MW	50 (125)	450 (500)	200
Turve	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %
1≤P≤ 5 MW	300 (375)	600 (625)	500
5<P≤10 MW	150 (250)	600 (625)	500
10<P<50 MW	50 (125)	600 (625)	500
Hiili	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %
1≤P<50 MW	50 (140)	420 (550)	1100

Taulukko 11: Olemassa olevien polttolaitosten päästörajat (750/2013)

Kattilan polttoaineteho (P)	Hiukkaset mg/m ³ n	NO _x (laskettuna NO ₂) mg/m ³ n	SO ₂ mg/m ³ n
Nestemäiset polttoaineet¹	O ₂ = 3 %	O ₂ = 3 %	O ₂ = 3 %
1≤P≤15 MW	50 ²	800	350 ⁴
15<P<50 MW	50 ³	500	350 ⁴
Kaasumaiset polttoaineet		O ₂ = 3 %	
1≤P≤15 MW		340	
15<P<50 MW		200	
Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet⁴	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %	
1≤P≤5 MW	200	375	200
5<P≤10 MW	50	375	200
10<P<50 MW	40	375	200
Turve	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %
1≤P≤5 MW	200	500	500
5<P≤10 MW	50	500	500
10<P<50 MW	40	500	500
Hiili	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %
1≤P≤10 MW	50	270	850
10<P<50 MW	40	270	850

Taulukko 12: Enimmäispäästön raja-arvot puun poltolle (Energiateollisuus, 2012, s. 30)

Tehoalue	Hiukkaspitoisuus	NO _x -pitoisuus	Häkäpitoisuus
1...5 MW	200	375	ei raja-arvoa
5...50 MW	40...50	375	ei raja-arvoa

8 PÄÄSTÖJEN MITTAAMINEN JA MITTALAITTEET

Taulukko 13: Päästöjen määrittämisen standardimenetelmät

Menetelmä	Standardi	Menetelmän periaate	Lisätietoa
Rikin oksidi	EN 14791	Kromatografia	Määrittäminen päästöistä
	EN 14212	Fluoresenssi	Määrittäminen ilmasta
Typen oksidit	EN 14792	Kemiluminesenssilla	Määrittäminen päästöistä
	EN 14211	Kemiluminesenssilla	Määrittäminen ilmasta
	EN 15058	Infrapuna	Määrittäminen päästöistä
	EN 14626	Infrapuna	Määrittäminen ilmasta
Hiilimonoksidi	EN 15058	Infrapuna	Määrittäminen päästöistä
PAH, furaani, dioksiini	EN 1948	Useita menetelmiä	Määrittäminen ilmasta
PAH	EN 15527	Massaspektrometria	Kvalitatiivinen analyysi, määrittäminen päästöistä
Lyijy, nikkeli, kadmium, arseeni	EN 15841	Atomiabsorptio tai massaspektrometria	Määrittäminen ilmasta
Hiukkaspäästöt	EN 13284-1	Gravimetrinen	Määrittäminen päästöistä
Happi	EN 14789	Paramagneettinen	Määrittäminen ilmasta
Vesihöyry	EN 14790	Kondensaatiomenetelmä	Määrittäminen putkistoista

Päästöjen mittaaminen riippuu paljon mittaustarpeesta ja käytössä olevista mittalaitteista. Useimmiten päästömittauksessa tarkistetaan polttolaitoksen päästörajojen alitus.

Yleisesti päästöjen määrittämisen standardina on EN 15259. Päästöjen määrittämiselle on omat standardimenetelmänsä, jotka on esitetty taulukossa 13.

8.1 Mittaaminen

Päästöjen komponentit määritetään pitoisuuksina tilavuutta kohti, joten kokonaispäästöjen määrittämiseksi tulee tietää myös päästöjen virtausnopeus. Toisinaan päästöt voidaan ilmoittaa myös tilavuusosuuksina pitoisuuksien sijaan.

8.2 Mittalaitteet

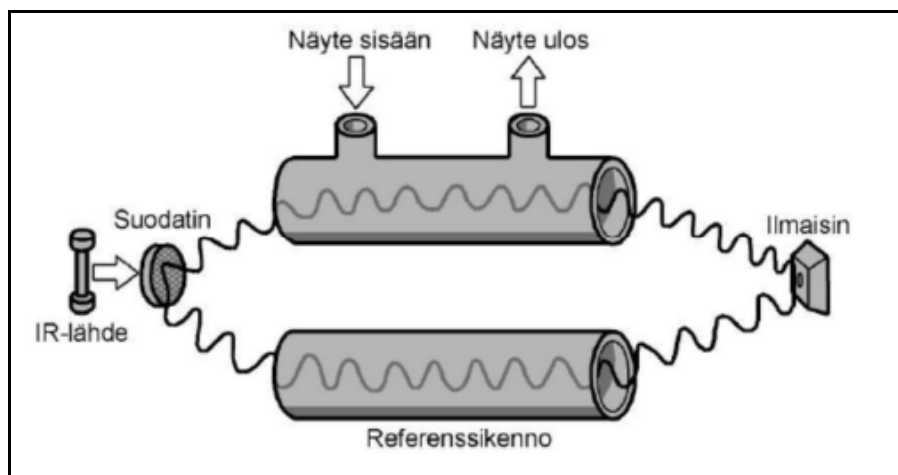
Päästöjen mittausta varten on eri tilanteisiin erilaisia ratkaisuja. Merkittävimmät erot tulevat optisten analyysien ja laboratorioanalyysien välillä sekä jatkuvatoimisen mittauksen ja kertamittauksen välillä. Jatkuvatoimisiin mittauksiin voidaan rakentaa suurempia ja painavampia mittalaitteita, kun kertamittauksia varten voidaan käyttää kevyempiä mittalaitteita.

Eräs jako mittausmenetelmissä on simultaanilaitteen ja yhtä ainetta kerrallaan määrittävien laitteiden välillä. Mikäli määritettäviä aineita on useampia, voidaan käyttää simultaanilaitteita, joilla saadaan määritettyä useamman yhdisteen pitoisuus samanaikaisesti. Päästömittauksessa tällöin puhutaan useimmiten IR-laitteistosta. Simultaanimittauksia voidaan tosin suorittaa myös muilla menetelmillä.

8.3 IR-mittalaitteet

IR-laitteistoa käyttäen saadaan määritettyä savukaasun orgaaniset yhdisteet käyttämällä infrapuna-alueen absorptiomäärittystä. Orgaaniset yhdisteet imevät läpi menevää valoa IR-alueella niille ominaisella tavalla. Toisaalta epäorgaaniset yhdisteet kuten happi ja typpi jäävät määrittämättä. Sen sijaan esimerkiksi typen ja rikin oksidit saadaan määritettyä. Määritysmenetelmän periaate on esitetty kuvassa 3. Siinä infrapunavalon kulkee kaasun läpi, joka havaitaan detektorilla. Kaasussa olevat aineet imevät valoa infrapuna-alueella, joten kaasut voidaan tunnistaa valon absorptiospektrin kautta.

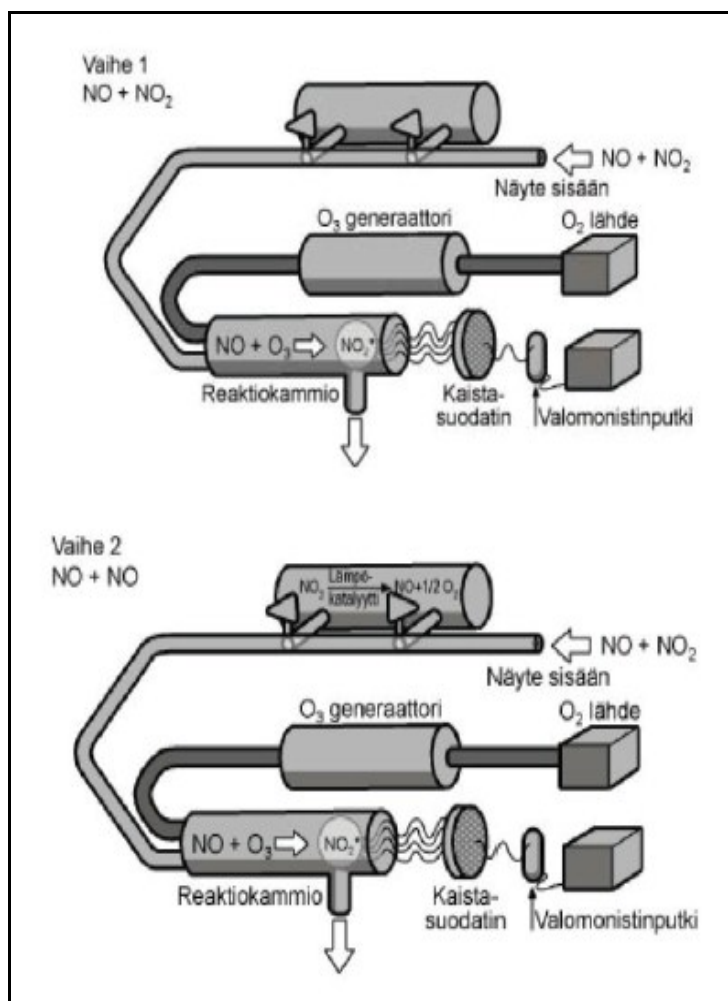
IR-mittaus saadaan suoritettua simultaanimittauksena, joten sen aikana saadaan selvitettyä huomattava osa savukaasuista määritettävistä yhdisteistä samanaikaisesti. Kaasuille suoritettava IR-määrittäminen on kohtuullisen uusi menetelmä, joten laitteistot ovat vielä melko kalliita. Laitteita on saatavilla kannettavina mittalaitteina ja kiinteästi asennettavina. Suurissa polttolaitoksissa ja REF-jätettä polttavissa laitoksissa on yleensä kiinteästi asennettava IR-laitteisto jatkuvaa päästönmittausta varten.



Kuva 3: IR-absorptioon perustuva analysaattori (Petäistö, 2011, s. 15)

8.4 Typen oksidien määrittys kemilumenesenssiin perustuen

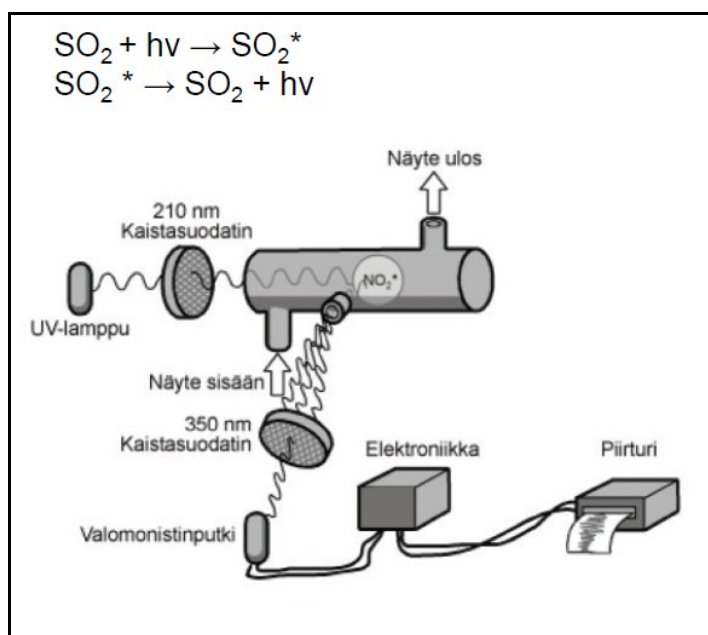
Typen oksidien määrittymisen standardimenetelmä perustuu kemilumenesenssiin. Menetelmän periaate on esitetty kuvassa 4. Siinä typpidioksidi muutetaan typpimonoksidiksi, jolloin typpimonoksidi ja typpidioksidi saadaan määritettyä samanaikaisesti. Seuraavassa vaiheessa typpimonoksidi viritetään otsoni-kaasulla, joka muodostaa valokvantin. Tämä valokvantti havaitaan valomonistinputkella. Typen oksidien pitoisuus saadaan valomonistinputkelle osuneiden valokvanttien määrän perusteella. (Pieniniemi, 2010, s. 13)



Kuva 4: Typen oksidien määrittymen menetelmä (Pieniniemi, 2010, s. 13)

8.5 Rikkidioksidin määrittäminen

Rikkidioksidin määrittämisen standardimenetelmä perustuu fluoresenssiin. Siinä rikkidioksidin pitoisuus määritetään UV-valolla viritetyiltä molekyyleiltä niiden lähettäessä valokvantin 350 nm aallonpituudella. Tämä valokvantti havaitaan valomonistinputkella, josta pitoisuus todetaan valokvanttien määrästä. (Petäistö, 2011, s. 7) Rikkidioksidit voidaan määrittää myös IR-menetelmällä.



Kuva 5: Rikin oksidien määrittäminen (Petäistö, 2011, s. 7)

8.6 Hiukkaspäästöjen määrittäminen

Hiukkaspäästöjen määrittämiseksi voidaan käyttää joko optista tai gravimetristä menetelmää. Optisessa menetelmässä määritetään valon absorptio perusteella hiukkasten määrää mittalaitteessa ja sitä kautta savukaasuissa. Gravimetrisessä menetelmässä kerätyt hiukkaset punnitaan. Menetelmästä on kerrottu tarkemmin luvussa 9.1.

9 SOVELTAVA OSIO

Työn aikana mitattiin päästöt Ylivieskan Vähäkankaan koulun hakekattilalla Gasmet IR –analyssaattorilla. Toisessa vaiheessa seurattiin Nablabsin päästömittausta Nivalan Kaukolämmön arinakattilalla. Samalla saatiin Nivalan kaukolämmön voimalaitoskattilan mittausdataa analysoitavaksi. Kuvassa 6 on Nivalan kaukolämmön voimalaitos ja taulukossa 14 siellä olevat lämpökattilat. Päästöjen analysointi tehtiin voimalaitoskattilalle ja päästömittauksen seuraaminen 5 MW lämpökattilalle.



Kuva 6: Nivalan kaukolämpö (www.kauko.eu)

Taulukko 14: Nivalan kaukolämmön polttokattilat

(<http://www.kauko.eu/index.php/laemmityskattilat>)

20,0 MW	Voimalaitos	Hyttitie 5
7,5 MW	Kiinteänpolttoaineen kattila	Hyttitie 5
5,0 MW	Kiinteänpolttoaineen kattila	Hyttitie 5
5,0 MW	Raskasöljykattila	Hyttitie 5
4,0 MW	Raskasöljykattila	Hyttitie 5
8,0 MW	Raskasöljykattila	Hyttitie 5
2,3 MW	Kevytöljykattila	Meijerin kiinteistö
2,0 MW	Kevytöljykattila	Vapaudentie 33
1,5 MW	Kevytöljykattila	Vapaudentie 33
0,6 MW	Siirrettävä kevytöljykattila	Kalliosaari

9.1 Nablabsin päästömittausten seuraaminen

Tässä osiossa on kerrottu Nablabsin käyttämistä päästömittauksen menetelmistä ja mittauksen periaatteista yleisesti. Päästömittaus tapahtui Nivalan kaukolämmön 5 MW arinakattilalla 21.10.2013. Kuvissa 7 ja 8 on mitattavana ollut kattila.

Päästömittaus tehdään kuivatuista savukaasuista. Mittalaitteistona oli IR-menetelmää käyttävä analysaattori, jolla saadaan mitattua samanaikaisesti hiilidioksidi, hiilimonoksidi typen oksidit ja rikkidioksidi. Muita mittalaitteita oli fluoresenssiin perustuva rikkidioksidin määrittäminen, kemiluminesenssiin perustuva typen oksidien määrittäminen ja gravimetriaan perustuva hiukkaspitoisuuden määrittäminen.

Kuvassa 9 on Nablabsin päästömittaajien käyttämä jatkuvatoiminen mittalaitteisto.

Gravimetrisessä määrittäyksessä käytetään isokineettistä mittausta, jossa ilmavirta sovitetaan laitteiston virtaukseen ja sen avulla imetään punnitulle suodatinkappaleelle pienhiukkasia määrätyn mittainen aika. Tämän jälkeen kappale suljetaan astiaan odottamaan punnitusta. Määrittäyksen aikana laitteistoon kondensoitunut vesi punnitaan kosteuden määrittämiseksi. Kuvissa 10 ja 11 on gravimetrisessä mittauksessa käytettävää laitteistoa.

Mittauksissa käytettiin rinnakkaisia määrittäysmenetelmiä ja useampia mittauksia ajon aikana sekä riittävän pitkää mittausaikaa.



Kuva 7: Mitattava mekaaninen arinakattila



Kuva 8: Määritettävän arinan palotila



Kuva 9: Nablabsin käyttämä mittalaitteisto ja pumppu



Kuva 10: Gravimetriseen hiukkaspäästöjen mittaukseen valmistettu pumppu



Kuva 11: Hiukkaspäästöjen määrittämiseen käytetty suodatin ja sen pidike

9.2 Vähäkankaan hakekattilan päästöjen mittaaminen

Päästöjen mittaaminen tapahtui IR –analyssaattorilla, jonka toiminta on esitetty aikaisemmin. Mitattavana oli uusi automatisoitu hakekattila, jolla tuotettiin koulun ja läheisen asuinrakennuksen lämpö. Mittaus suoritettiin 27.9.2013. Kuvassa 12 on hakepolttimen kontti ja sen varasto ja kuvassa 13 on työssä käytetty Gasmet -mittalaite. Kuvaajana 2 on eräästä määrityksestä saatu IR-spektri.

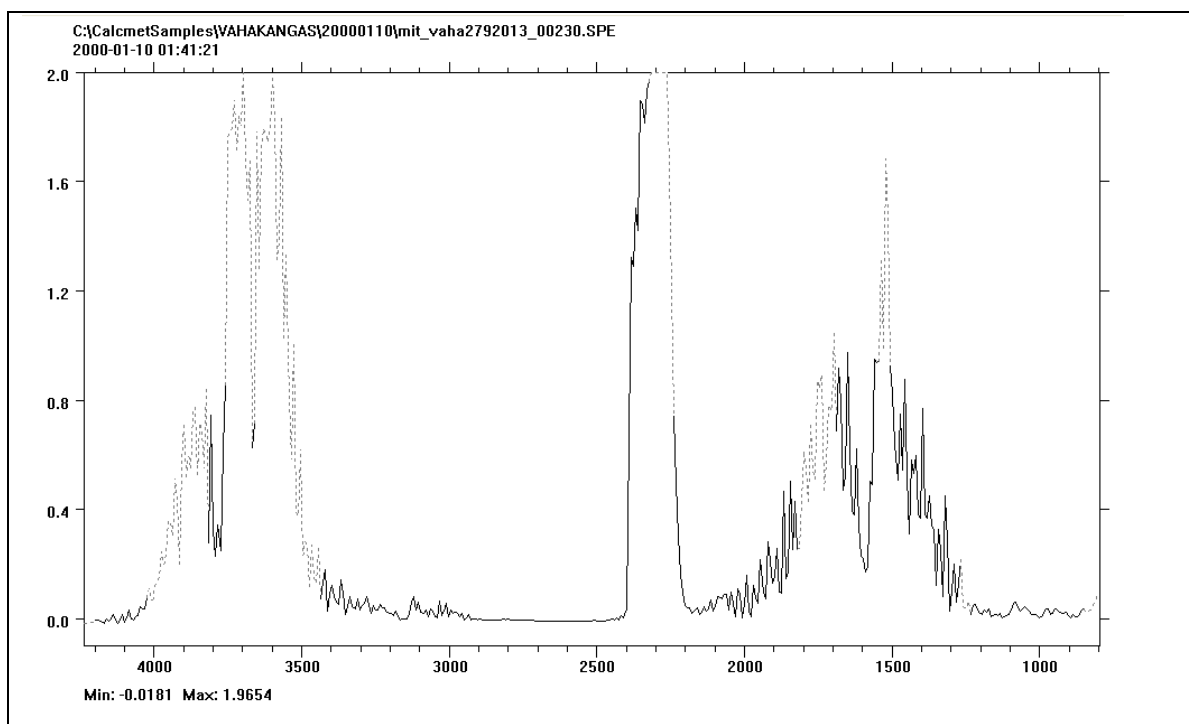
Päästöt laskettiin kuivassa savukaasussa redusoimalla mitattuun 11,5 % happipitoisuuteen.



Kuva 12: Hakepolttimen kontti ja sen hakevarasto



Kuva 13: Gasmittalaite ja sen pumppu



Kuvaaja 2: IR-spektri

9.3 Nivalan kaukolämmön voimalaitoskattilan päästöjen analysointi

Nivalan voimalaitoskattilan teho on 20 MW. Sen polttoaineina käytetään puuta, turvetta, kierrätyspaperia ja teollisuusjätettä. Jätteiden polton vuoksi voimalaitoksella on käytössä jatkuvatoiminen päästömittaus, jolla tehdään yli 1300 määritystä vuorokaudessa. Päästömittauksessa käytetään IR-laitteistoa, jolla nähdään myös jätteidenpoltosta aiheutuvat savukaasun mukanaan kulkeutuvat yhdisteet.

Tässä työssä analysoidaan 20.11.2013 IR-laitteistolla määritetyt päästöt ja tuloksia verrataan aiemmin esitettyihin päästörajoihin. Päästöjen pitoisuudet oli jo valmiiksi redusoitu 6 % happipitoisuuteen. Päästöjen määrittämiseksi niiden pitoisuus laskettiin kuivassa savukaasussa.

10 TULOKSET

10.1 Vähäkankaan hakekattilan päästöt

Mittaustulokset on esitetty taulukossa 14. Tarkemmat pitoisuudet on esitetty kuvaajina liitteenä 1 ja 2. Kari Pieniniemen suorittaman kalibroinnin kuvaaja ja pitoisuudet on esitetty liitteinä 4 ja 5.

Happipitoisuus oli määrittelyn aikana tarpeettoman suuri. Suositeltu pitoisuus kiinteälle aineelle on kuusi prosenttia, kun mittauksen aikana se oli yksitoista prosenttia. Tämä voi olla syynä hiilimonoksidin odotettua korkeammalle pitoisuudelle. Tavallisesti hiilimonoksidin pitoisuus pienillä kattiloilla on noin kahdeksan prosenttia.

Hiilimonoksidin korkeasta pitoisuudesta voidaan myös olettaa, että hiukkaspäästöt ovat kasvaneet, koska hiilimonoksidin ja pienhiukkasten pitoisuudet kasvavat palamattoman aineen seurauksena. Hiilimonoksidin määrä kasvaa palamisessa happipitoisuuden ollessa tarpeettoman korkea.

Mittauksen aikana saatiin seurattua päästöjen pitoisuuden vaihteluita syttymishetkestä alkaen. Suurimmat pitoisuudet mitattiin juuri syttymisen jälkeen. Tuolloin hiilimonoksidin ja typpimonoksidin pitoisuudet kävivät hyvin korkeilla.

Taulukko 14: Haketattilan päästöt tasaisen ajon aikana

Yhdiste	Hiilidioksidi(v-%)	Hiilimonoksidi (mg/m ³)	Typpimonoksidi (mg/m ³)	Happi (%)	Vesihöyry (%)
Keskiarvo	8,18	891,74	294,41	11,15	9,49
Pienin arvo	6,02	0,00	218,38	9,66	5,35
Suurin arvo	7,53	3057,27	339,44	12,69	12,21
Keskihajonta	0,30	1067,33	22,24	0,67	1,63
Variaatiokerroin	0,04	1,20	0,08	0,06	0,17

10.2 Nivalan kaukolämmön voimalaitoskattilan päästöt

Savukaasuissa pitoisuudet vaihtelivat vain vähän ja lasketut pitoisuudet olivat selvästi alle määrittäysrajojen. Mittaustulokset ja raja-arvot on esitetty taulukossa 15. Hiilidioksidin, hiilimonoksidin, typpimonoksidin, rikkidioksidin, hapen ja vesihöyryn pitoisuuden vaihtelut on esitetty liitteenä 3.

Taulukko 15: Nivalan kaukolämmön voimalaitoskattilan päästöt 20.11.2013

Kuivat pitoisuudet	Hiilidioksidi (v-%)	Hiilimonoksidi (mg/m ³)	Typpimonoksidi (mg/m ³)	Rikkidioksidi (mg/m ³)	Happi (v-%)	Vesihöyry (v-%)
Keskiarvo	12,5	39,1	166,8	85,8	6,1	20,8
Suurin arvo	14,7	205,9	166,8	246,3	8,7	23,9
Pienin arvo	10,4	26,0	166,8	21,5	3,5	18,1
Keskihajonta	0,63	8,85	18,74	29,13	0,71	0,86
Variaatiokerroin	0,05	0,23	0,11	0,34	0,12	0,04
Raja-arvo	--		375	200		

11 YHTEENVETO

Polttolaitoksissa lähes kaikki päästöt kulkeutuvat savukaasun mukana laitoksen ulkopuolelle. Hiilen ja hiilivetyjen palamisen yhteydessä muodostuu aina hiilidioksidia. Muita palamisen yhteydessä havaittavia päästöjä ovat hiukkaspäästöt, hiilimonoksidi, typen oksidit, rikkidioksidi, aromaattiset yhdisteet ja raskasmetallit. Näistä etenkin hiukkaspäästöt, typen oksidit, rikin oksidit, hiilimonoksidi ja hiilidioksidi ovat valvonnan alla.

Palamisen yhteydessä muodostuvien päästöjen pitoisuus riippuu useasta tekijästä, joita ovat poltettava aine, polttomenetelmä ja puhdistusmenetelmät. Fossiilisilla polttoaineilla syntyy suurempi määrä päästöjä, koska poltettavaan aineeseen on kertynyt enemmän haitallisia aineita muodostavia yhdisteitä. Typen oksideja syntyy lähinnä korkeissa palamislämpötiloissa ilman typen reagoidessa hapen kanssa.

Paremmissa palamisoloissa syntyy vähemmän päästöjä. Myös kaasuttaminen polttaminen sijaan tuottaa vähemmän päästöjä. Savukaasuja voidaan puhdistaa useilla menetelmillä. Etenkin pienhiukkasten puhdistaminen savukaasuista on tärkeää.

Päästöjä voidaan mitata suoraan savukaasuista sitä varten rakennetuilla laitteistoilla. Mittauksien aikana kerätään riittävästi dataa eri käyttöolosuhteista, jotta tiedetään sen suurimmat mahdolliset päästöt.

12 POHDINTA

Työn aihe valikoitui päästöjä koskevan lainsäädännön ja standardien uudistumisen myötä.

Työn aihepiiri osoittautui erittäin laajaksi. Tarkemman tutkimuksen ulkopuolelle jäivät esimerkiksi jätteiden poltto ja sen erityislainsäädäntö, tulossa oleva pienpolttoa koskeva lainsäädännön uudistus ja suuria polttolaitoksia käsittelevät päästörajat.

LÄHTEET

Kirjat:

Flagan, R. Seinfeld, J. Fundamentals of air pollution engineering, Prentice-Hall Inc. 1988

Raiko, R. Saastamoinen J. Hupa M. Kurki-Suonio I. Poltto ja palaminen, 1. painos, Teknillisten tieteiden akademiat, Helsinki, 1995

Asetukset:

FINLEX valtion säädöstietopankki, Valtioneuvoston asetus 445/2010, Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista, <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100445>, poimittu 21.4.2014

FINLEX valtion säädöstietopankki, Valtioneuvoston asetus 750/2013, Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista, <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130750>, poimittu 21.4.2014

Opinnäytetyöt:

Petäistö, H. Opinnäytetyö: Rikkipäästöjen vähentäminen Haapaveden turvevoimalaitoksella, Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulu, 2011, <http://www.theseus.fi/handle/10024/25373>, poimittu 21.4.2014

Timonen, J. Höyrykattila ja sen toiminta voimalaitoksen osana, Tampereen Ammattikorkeakoulu, 2009, <https://www.theseus.fi/handle/10024/8556>, poimittu 21.4.2014

Selvitykset:

Energiateollisuus Ry, Ramboll Oy, Alle 50 MW:n lämpölaitosten teollisuusjätevesiselvitys, 2008, http://energia.fi/sites/default/files/alle_50_mw_lampolaitostenteollisuusjatevesiselvitys_ramboll_20081104.pdf, poimittu 21.4.2014

Energiateollisuus Ry, Ympäristöministeriö, Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5-30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta, 2012, <http://www.ym.fi/download/noname/%7B200B1E69-09BB-4654-8DBC-F67274431193%7D/30742>, poimittu 21.4.2014

Luentomonisteet:

Pieniniemi, K. Jatkuvatoimisten mittalaitteiden laadunvarmistus, Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulu, 2010

WWW-viitteet:

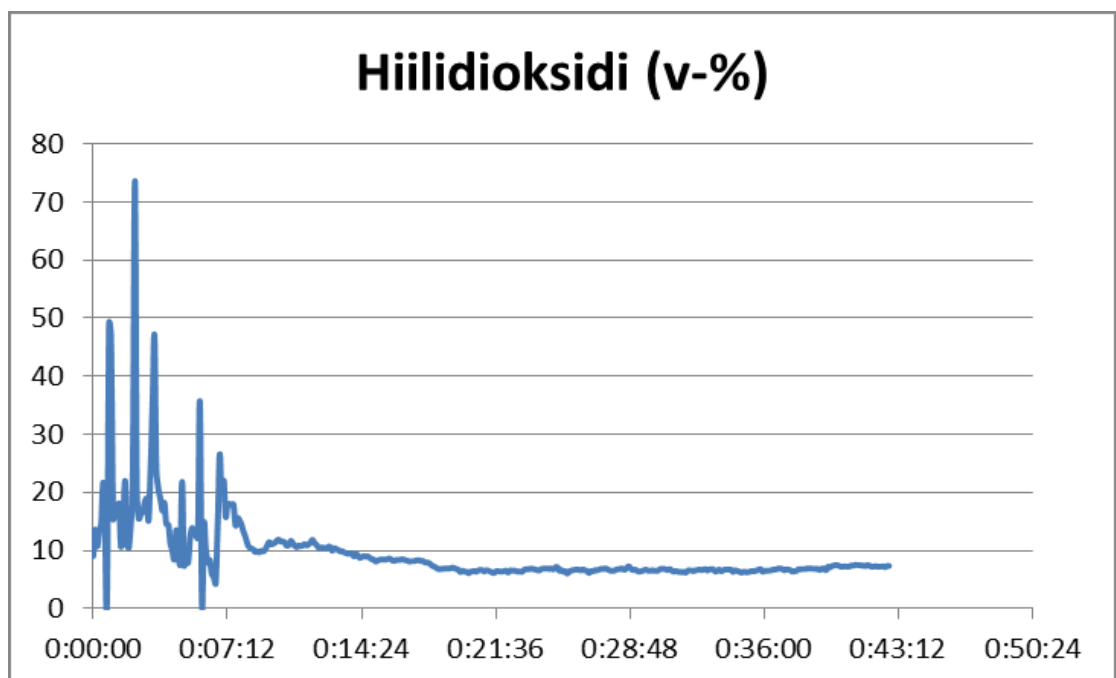
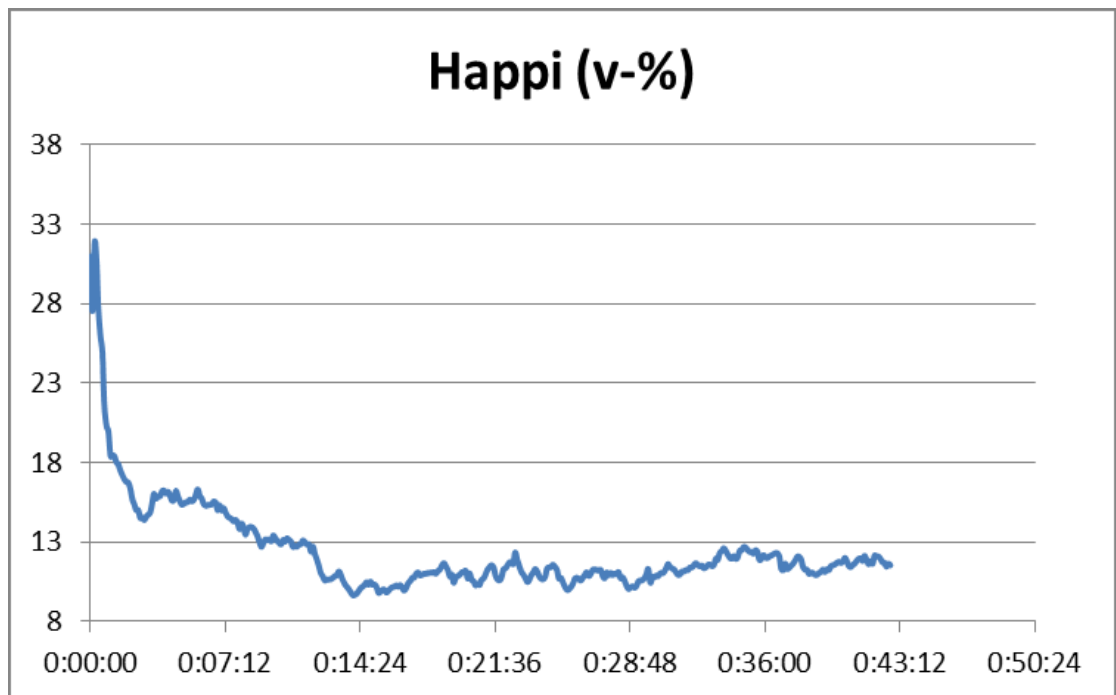
Nivalan kaukolämpö, www.kauko.eu, poimittu 21.4.2014

Nivalan kaukolämpö, lämmityskattilat,
<http://www.kauko.eu/index.php/laemmityskattilat>, poimittu 21.4.2014

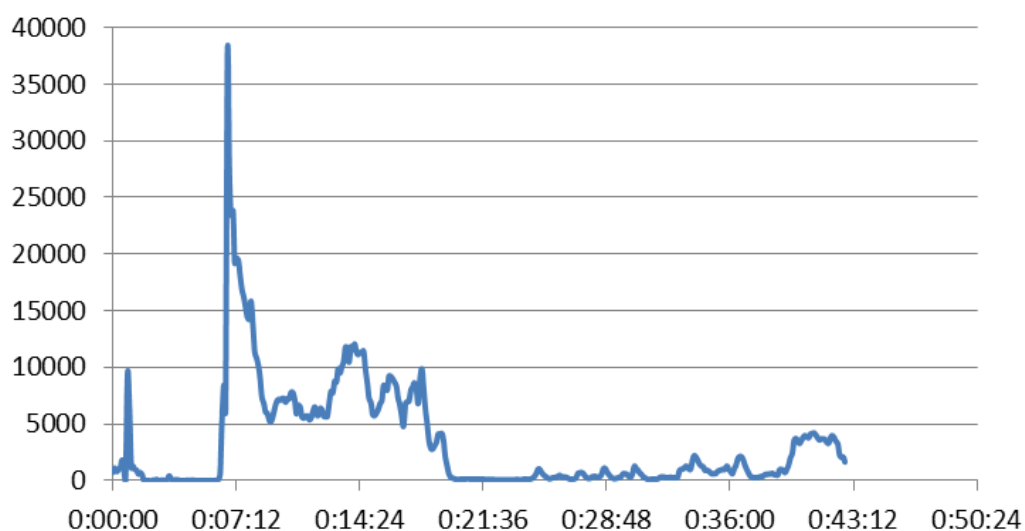
Liiteluettelo:

1. Kuvaajat: Vähäkankaan hakekattilan pitoisuudet päästöt koko ajon aikana kuivassa savukaasussa, redusoitu 11% happipitoisuuteen
2. Kuvaajat: Vähäkankaan hakekattilan pitoisuudet päästöt tasaisen ajon aikana kuivassa savukaasussa, redusoitu 11% happipitoisuuteen
3. Kuvaajat: Nivalan kaukolämmön voimalaitoskattilan päästöt 20.11.2013 kuivassa savukaasussa, redusoituna 6% happipitoisuuteen
4. Kuvaaja: Kalibrointi vähäkankaan päästömittaukselle
5. Taulukko: Vähäkankaan päästömittauksen kalibrointi

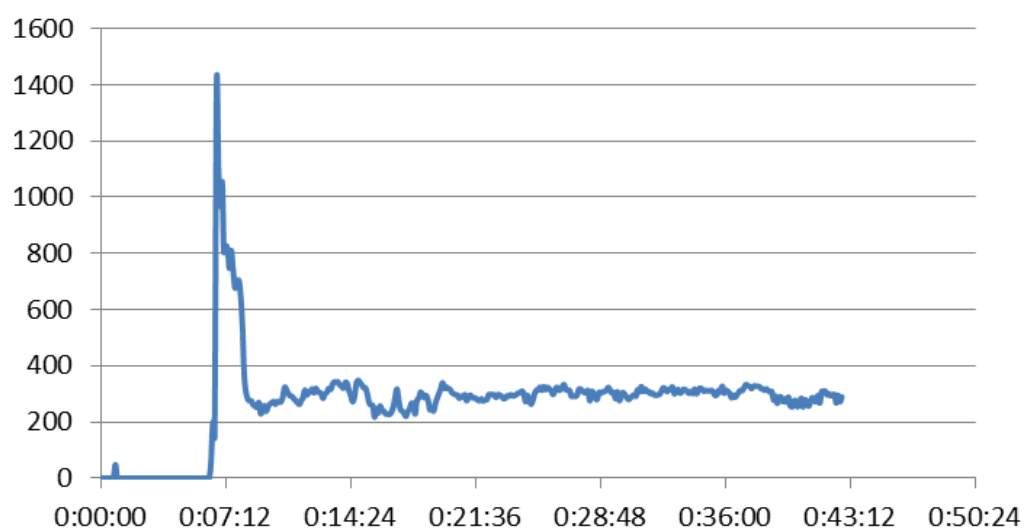
Liite 1: Kuvaajat: Vähäkankaan hakekattilan pitoisuudet päästöt koko ajon aikana
kuivassa savukaasussa, redusoitu 11% happipitoisuuteen



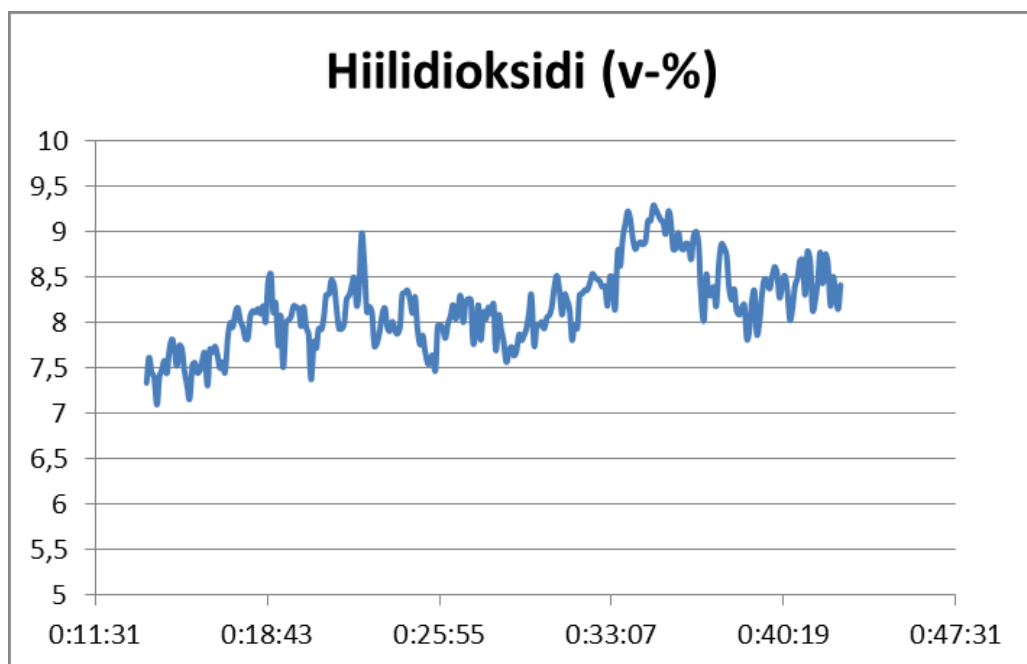
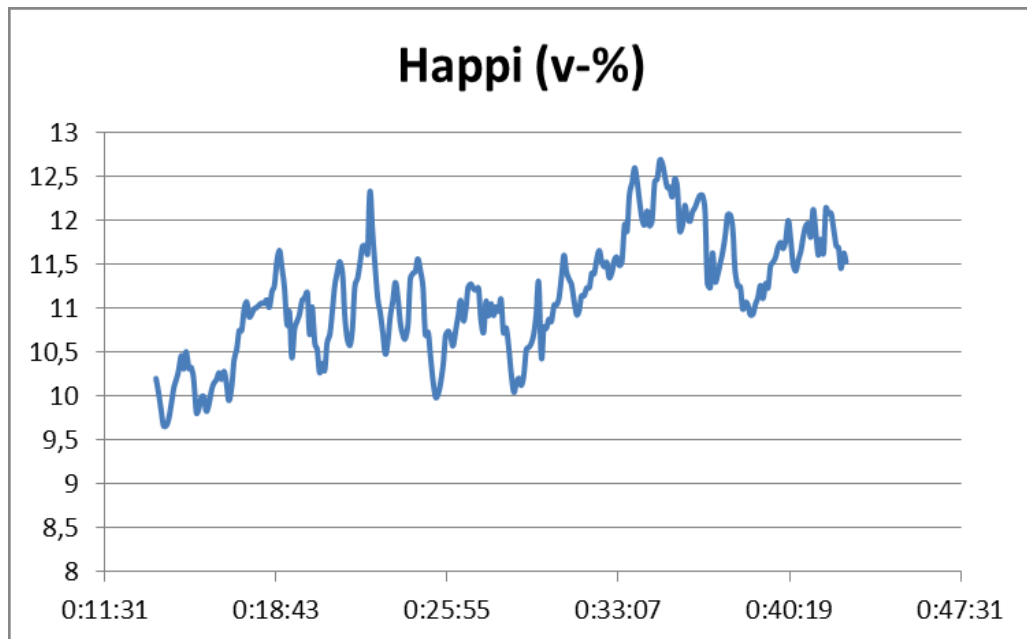
Hiilimonoksidi (mg/m³)



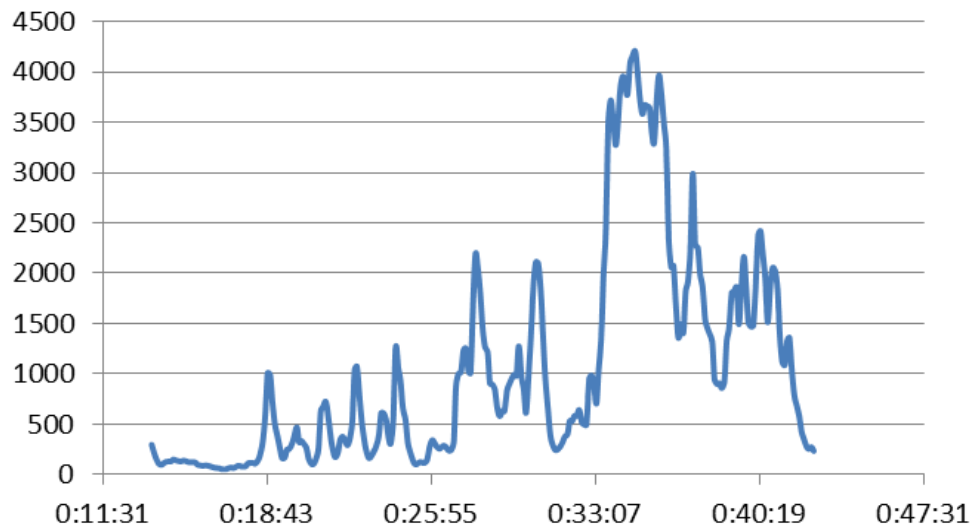
Typpimonoksidi (mg/m³)



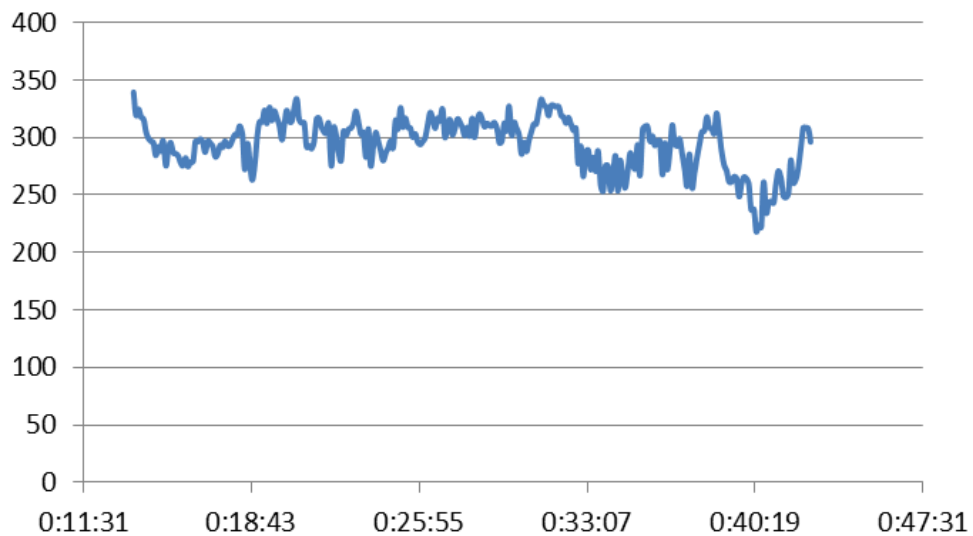
Liite 2: Kuvaajat: Vähäkankaan hakekattilan pitoisuudet päästöt tasaisen ajon aikana kuivassa savukaasussa, redusoitu 11% happipitoisuuteen



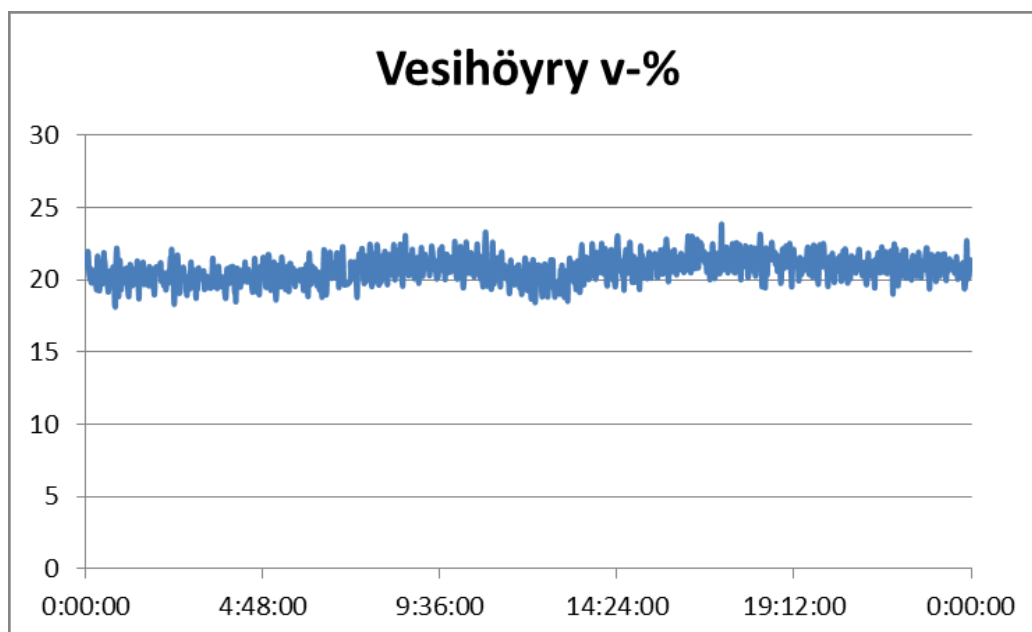
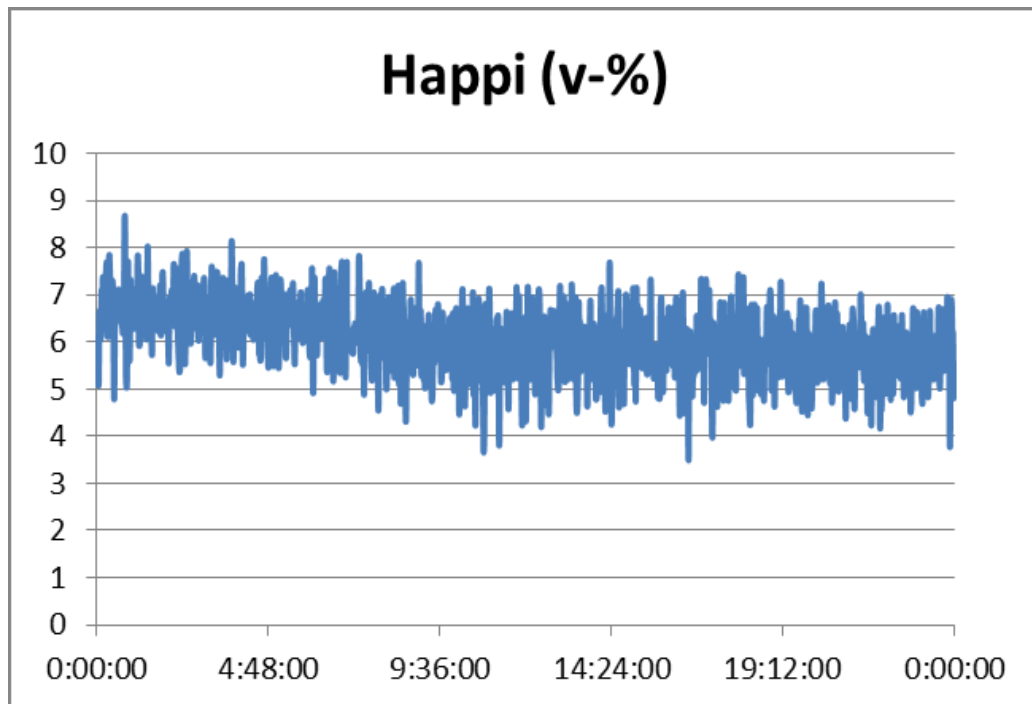
Hiilimonoksidi (mg/m³)

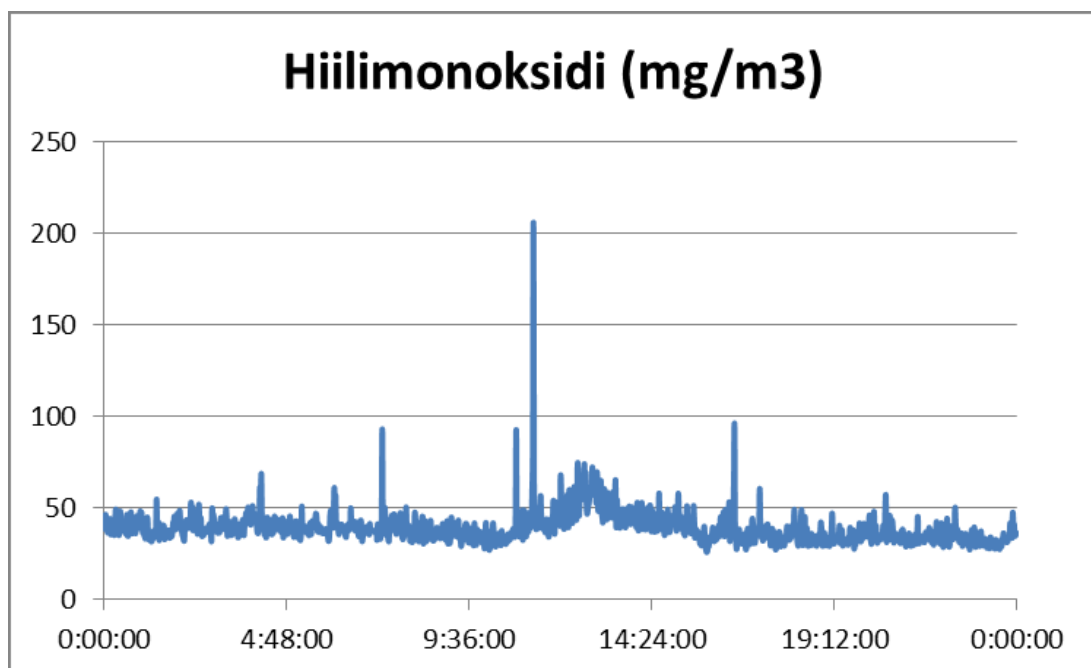
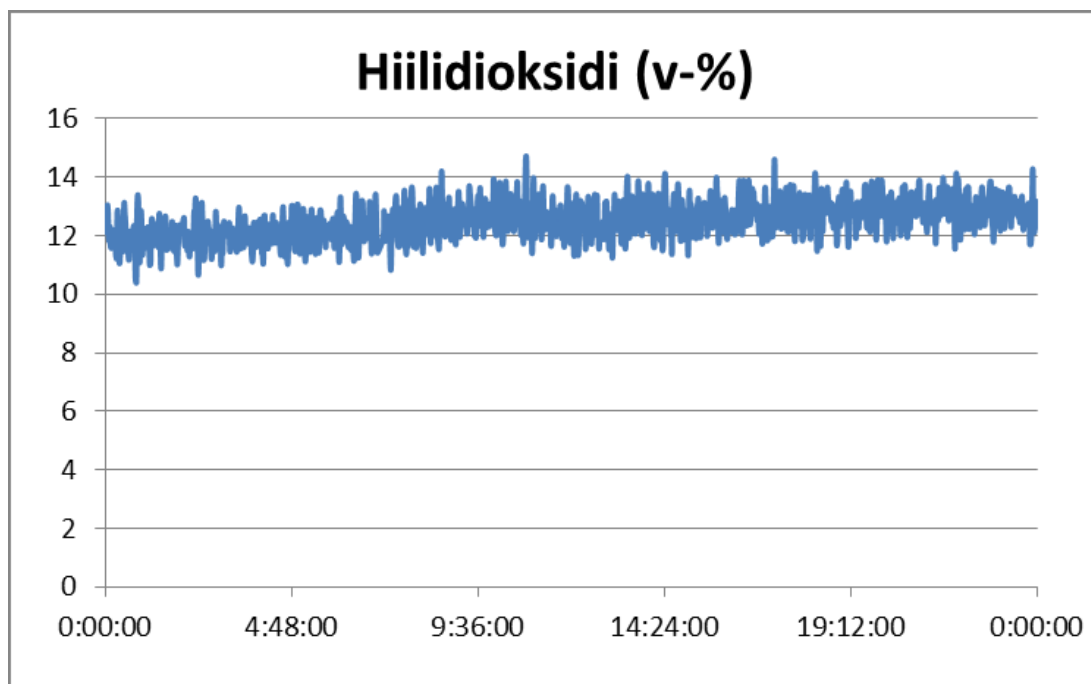


Typpimonoksidi (mg/m³)

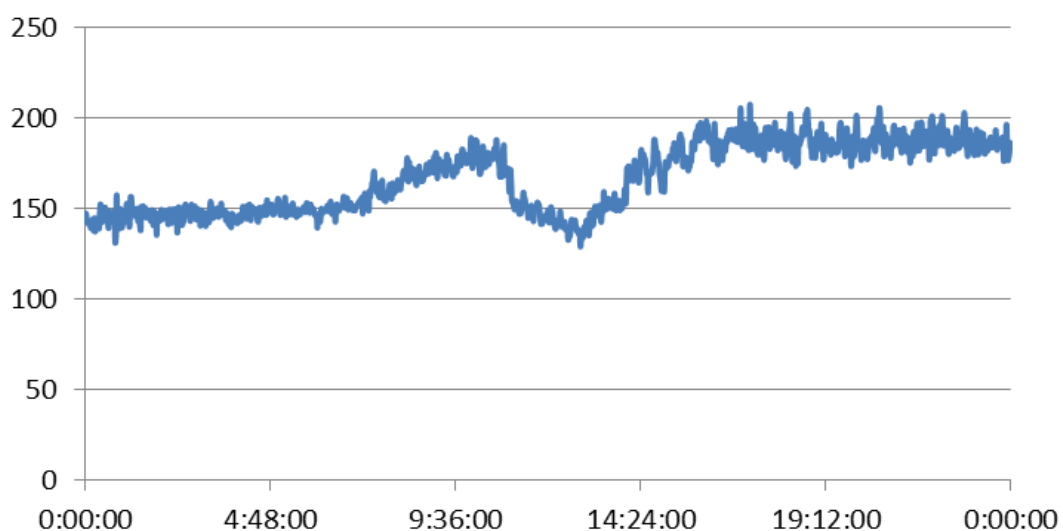


Liite 3: Nivalan kaukolämmön voimalaitoskattilan päästöt 20.11.2013 kuivassa savukaasussa, redusoituna 6% happipitoisuuteen

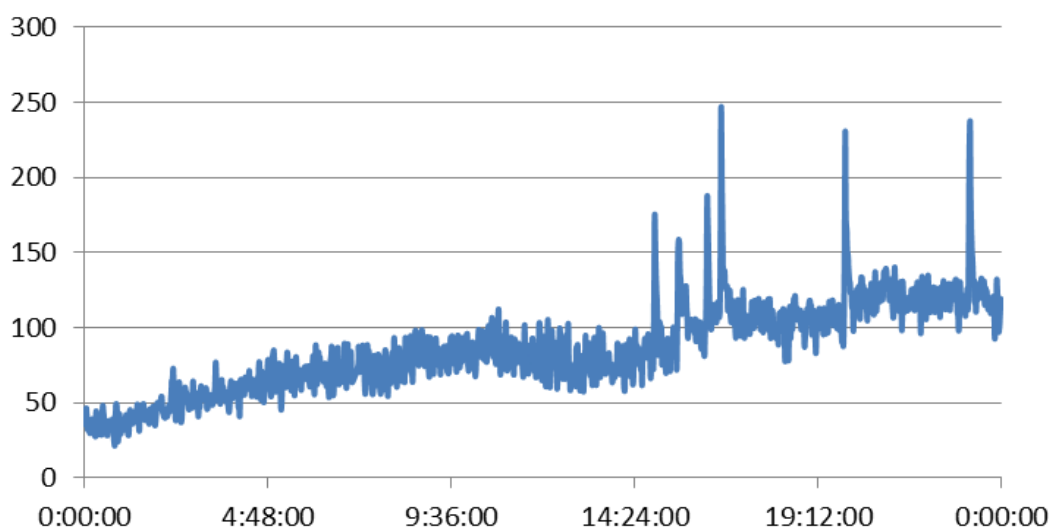




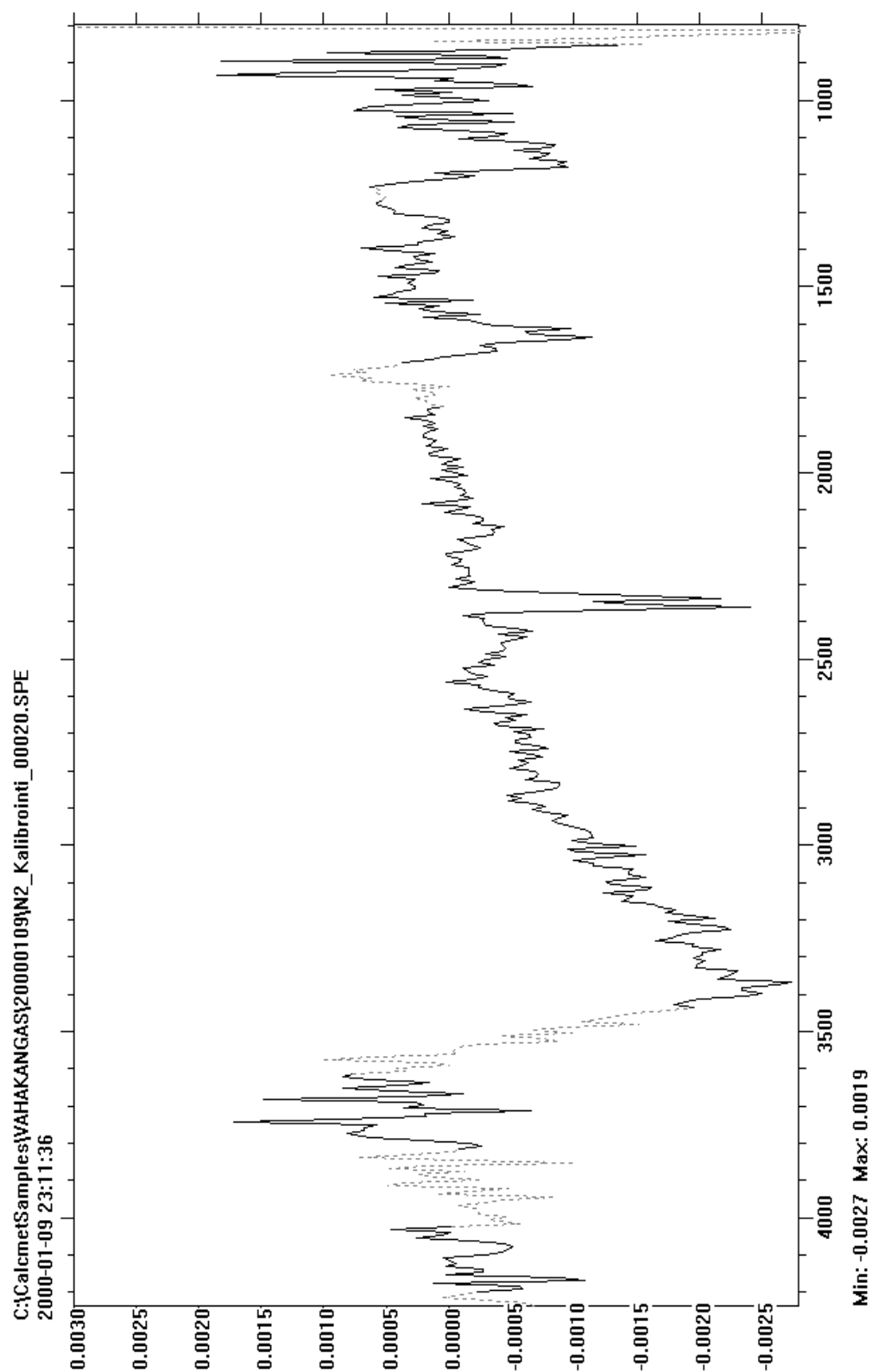
Typpimonoksidi (mg/m³)



Rikkidioksidi (mg/m³)



Liite 4: Kuvaaja: Kalibrointi vähäkankaan päästömittaukselle



Liite 5: Vähäkankaan päästömittauksen kalibrointi

C:\Calmet\Samples\VAHAKANGAS\20000109\N2_Kalibrointi_00020.SPE 2000-01-09 23:11:36 VoimaL_CEM_oma.LIB									
Ch	Component	Concentration	Unit	Output	Compensation	Range	Resid		
1	Water vapor H2O	0.0	vol-%		wet	30	0.0004		
2	Carbon dioxide CO2	0.0	vol-%		wet	20	0.0016		
3	Carbon monoxide CO [Low]	1.0	ppm		wet	9000	0.0003		
5	Nitrous oxide N2O	0.0	ppm		wet	100	0.0004		
6	Nitrogen monoxide NO	1.9	ppm		wet	500	0.0012		
7	Nitrogen dioxide NO2	0.5	ppm		wet	200	0.0003		
8	Sulfur dioxide SO2	0.0	ppm		wet	1000	0.0009		
9	Ammonia NH3	0.3	ppm		wet	100	0.0017		
10	Hydrogen chloride HCl	0.1	ppm		wet	50	0.0003		
11	Hydrogen fluoride HF	0.0	ppm		wet	50	0.0007		
12	Methane CH4 [Low]	0.3	ppm		wet	50000	0.0003		
13	Ethane C2H6	0.0	ppm		wet	500	0.0003		
14	Ethylene C2H4	0.0	ppm		wet	500	0.0013		
15	Propane C3H8	0.1	ppm		wet	500	0.0004		
16	Hexane C6H14	0.0	ppm		wet	500	0.0005		
17	Formaldehyde CH2O	0.0	ppm		wet	1000	0.0003		
44	DMDS	0.0	ppm		wet	510	0.0015		
45	Methylmercaptan, CH4S	2.9	ppm		wet	1000	0.0017		
52	Sulfur trioxide SO3	0.0	ppm		wet	460	0.0004		
202	NOx as NO2	2.4	ppm		wet	1000			
203	TOC	0.3	ppm		wet	1000			
219	Pressure	999	mbar		wet	2000			
220	Oxygen [O2]	0.10	vol-%		wet	25			